

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INFORMACIÓN



REALIDAD VIRTUAL

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Alberto Luis García García

Bajo la dirección del doctor

Hipólito Vivar Zurita

Madrid, 2000

ISBN: 84-669-2406-X

Realidad Virtual



Se recuerda al lector no hacer más
uso de esta obra que el que
permiten las disposiciones Vigentes
sobre los Derechos de Propiedad
Intelectual del autor. La Biblioteca
queda exenta de toda responsabilidad.

Dado de Baja
en la
Biblioteca

Doctorando: Alberto Luis García García

Director de Tesis: Hipólito Vivar Zurita

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
DE MADRID**

**FACULTAD DE CIENCIAS
DE LA INFORMACION**

REGISTROS DE LIBROS

BIBLIOTECA GENERAL

Nº Registro **V.D. 628**

INDICE

I. INTRODUCCION.....	1
2. REALIDAD VIRTUAL: <i>AL OTRO LADO DEL ESPEJO</i>.....	10
3. CONTEXTO HISTÓRICO DE LA REALIDAD VIRTUAL.....	41
4. EL SENTIDO DE LA VISTA EN LA REALIDAD VIRTUAL	
4.1. FUNDAMENTOS FISIOLÓGICOS DE LA REALIDAD VIRTUAL.....	60
4.2. FUNDAMENTOS PSICOLÓGICOS DE LA REALIDAD VIRTUAL.....	90
4.3. CLAVES PARA LA CREACIÓN DE MUNDOS VIRTUALES.....	154
5. EL SENTIDO DEL OÍDO Y EL SONIDO EN LA REALIDAD VIRTUAL.	157
6. EL SENTIDO DEL OLFATO.....	166
7. HERRAMIENTAS CLÁSICAS DE REALIDAD VIRTUAL	
7.1 HEAD MOUNTAIN DISPLAY (HMD).....	167
7.2. EL GUANTE DE DATOS (DATA GLOVE).....	178
7.3. EL TRAJE DE DATOS (DATA SUIT).....	190
8. SÍNTESIS DE IMAGEN 3D Y PARADIGMAS DE VISUALIZACIÓN	
8.1. SÍNTESIS DE LA IMAGEN.....	193
8.2. EL PROCESO DE SÍNTESIS.....	205
8.3. PARADIGMAS DE VISUALIZACIÓN.....	212
8.4. MONITORES O PROYECTORES.....	213

8.5. BOOM.....	216
8.6. CAVE.....	218
8.7. DOMOS.....	239
9. APLICACIONES.....	241
10. NUEVA TERMINOLOGIA PRODUCTO DE UN NUEVO MEDIO.....	255
11. EL CONCEPTO DE RETROALIMENTACIÓN: LA INTERACTIVIDAD.....	281
12. LA "COMUNICACION POSTSIMBOLICA" DE JARON LANIE	290
13. NUEVAS FORMAS DE COMUNICACIÓN	
13.1. EL HIPERTEXTO.....	302
13.2 LA COMUNICACIÓN GLOBAL: EL DERRUMBAMIENTO DE LAS FRONTERAS COMUNICATIVAS.....	314
13.2. POSIBILIDADES DE UNA NUEVA CULTURA GRACIAS A LOS NUEVOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN.....	324
13.3. UN NUEVO TIPO DE COMUNICACIÓN EN FEED-BACK ILIMITADA Y TRANSNACIONAL.....	348
14. CONCLUSIONES.....	357
15. APENDICES Y BIBLIOGRAFIA.....	378

Capítulo 1.

INTRODUCCIÓN

La realidad virtual implica nuevos campos de investigación dentro del ámbito comunicativo. No obstante, nació hace casi medio siglo. Hasta la aparición de las grandes redes de comunicación, cuyo mayor exponente es Internet, no ha sido posible introducir a la realidad virtual dentro de un espacio compartido de comunicación. Aún, en nuestros días, la limitación tecnológica existente en la cantidad de datos que se puede transmitir por la fibra óptica que conforma las autopistas de la información, hace inviable la creación de mundos virtuales con una interacción comunicativa plena. Las barreras tecnológicas, no obstante, son un problema que pronto se solucionan, y más, en un mundo donde la informática y sus aplicaciones determinan tanto el aspecto social como el económico de la misma.

Actualmente, las investigaciones científicas en torno a la realidad virtual, como medio o soporte comunicativo, son bastante escasas. Las publicaciones sobre el tema se centran más en los aspectos tecnológicos y de aplicación a las ciencias y el comercio, que en la comunicación.

Esta falta de datos previos imposibilita hacer predicciones con una cierta seguridad, por lo que la finalidad de esta tesis está más cerca de dar indicaciones que explicaciones de causalidad. Esta escasez de antecedentes hace prácticamente imposible delimitar un marco estadístico general, propio de las diferentes investigaciones sobre medios de comunicación de masas. Nuestra línea de investigación se acerca más a la búsqueda de interrogantes acerca de la relación entre los distintos componentes que conforman el fenómeno de lo virtual dentro de la sociedad globalizada en la que vivimos.

Con este fin, se han buscado la líneas evolutivas de los modos de comunicación en la sociedad occidental. Este marco delimitador se debe a que, la realidad virtual, tiene sus orígenes en hechos comunicativos occidentales. No obstante, el fin último de la misma es romper cualquier tipo de obstáculo comunicacional en la sociedad global actual.

El ser humano se ha comunicado entre sí desde el principio de su existencia, siendo la prueba más antigua la pintura rupestre propia de la época prehistórica. Desde ese punto único de partida hasta Internet, ha aparecido un amplio espectro de formas comunicativas y lenguajes

que han hecho imposible acercar distintas culturas. El estudio de la tradición narrativa, es decir, la forma de contar, es fundamental a la hora de abordar la realidad virtual como un espacio de integración de formas de narrar.

La tecnología y la comunicación han estado ampliamente relacionadas a lo largo de la historia. No en vano, inventos tecnológicos como el papel o la imprenta hicieron avanzar extraordinariamente, la sociedad occidental iniciando revoluciones sociales y culturales sin precedentes. La posesión de una mejor tecnología ha creado diferenciaciones sociales bastante notables. Desde este punto de partida, en esta tesis se intenta averiguar la implicación, que una tecnología con un poder comunicativo notable como es la realidad virtual, va a crear en nuestra sociedad. Basándose en estudios precedentes, provenientes en su mayoría del campo de la sociología, se van a abordar temas tales como si la tecnología virtual supone un freno al desarrollo sostenido de el conjunto de la población humana o, si al contrario, va a acentuar las diferencias existentes entre países ricos o que poseen alta tecnología y países pobres escasos en tecnología.

El tema de la globalización es uno de los procesos más importantes a los que estamos asistiendo en este cambio de milenio. Consiste, básicamente, en una liberalización económica e ideológica mundial que trae consigo, además de una profundización de las desigualdades, la destrucción de toda la diversidad cultural que enriquece nuestro planeta, y sus sustitución por el modo de vida impuesto por las nuevas tecnologías. Ante este argumento, se suele afirmar que la mundialización no tiene porque destruir ciertas diferencias entre los pueblos. Pero no podemos caer en la trampa de considerar como cultura simplemente los aspectos más superficiales de la vida de los pueblos, como su modo de vestir o su gastronomía; mucho más importantes son sus sistemas políticos, sus religiones o sus diferentes visiones morales. Son precisamente éstos los que se están destruyendo, viéndose sustituidos por una nueva cultura promulgado por las distintas tecnologías que imponen un determinado modelo de vida. Pretendo demostrar que la realidad virtual, que juega un papel mediático importante en el concepto de aldea global, nos conduce, si no se ponen las debidas limitaciones económicas, morales y filosóficas, a un empobrecimiento progresivo y a una decadencia cultural que sólo favorece a las élites financieras que se benefician de la existencia de un único y gran mercado planetario formado por 6.000 millones de posibles cibernautas.

Asimismo, se ahondará en las posibles interacciones entre el individuo y la máquina cuando éste actúa y se mueve en un entorno que puede moldear según sus propias necesidades. El aspecto psicológico es necesario para entender las posibles reacciones de la persona frente a la nueva era digital.

Desde la aparición de los grandes medios de comunicación de masas se ha investigado,

desde diversos planteamientos, su influencia tanto en el individuo como en la sociedad que conforma dichos individuos. La realidad virtual se va a convertir en el medio de comunicación ideal, debido a su base puramente icónica, en un mundo global conectado mediante redes de telecomunicación. No obstante, actualmente, la realidad virtual no es totalmente conocida por el gran público y, con frecuencia, se confunde con otras tecnologías, basadas en el ordenador como herramienta tecnológica de configuración, tales como la infografía, o la televisión interactiva. En esta tesis, se pretende dejar claro las diferencias existentes entre estas herramientas y, para ello, se va a describir profundamente que es la realidad virtual, que herramientas se utilizan para su elaboración y en que principios, tanto fisiológicos como psicológicos, se han basado los investigadores para tratar de crear esa realidad artificial capaz de engañar a los sentidos.

Para ello, se ha seguido una línea metodológica similar al estudio de cualquier otro medio de comunicación de masas. Partiendo de la idea general de que la reiterada recepción de imágenes y temáticas ofrecidas de manera uniforme y sostenida por los medios, terminará por afectar nuestra forma de percibir esos asuntos, moldeando nuestra percepción en consonancia con la perspectiva ofrecida por dichos medios, se integra a la realidad virtual en esta teoría puesto que esta tecnología es considerada, en esta tesis, como el último gran medio de comunicación de masas creado por el hombre.

La principal aportación comunicativa de la realidad virtual es la capacidad de interactividad. A diferencia de los otros grandes medios de comunicación de masas, la cualidad interactiva -propio de cualquier sistema basado en la informática- revoluciona el modo y la forma en la que el individuo se enfrenta al intercambio de información con otros individuos y con la máquina.

La importancia de este tema es abordado como principio teórico para abordar la influencia de la realidad virtual en la comunicación de masas. A partir de este principio aparecen nuevas propuestas de modelos comunicativos como la "comunicación postsimbólica", modelo propuesto por Jaron Lanier, en el que se califica a la realidad virtual como el medio en el que se trabaja directamente con símbolos y, de este modo, se convierte a la imagen en el motor de la comunicación.

La revolución que supone este nuevo modelo en el hecho comunicativo queda reflejada en esta tesis y, para ello, se indaga en la historia, para buscar las consecuencias de todas las grandes revoluciones comunicativas acaecidas hasta nuestros días (*ver capítulo titulado "El hipertexto"*) para, de este modo, conocer las características y consecuencias históricas de un gran avance en el campo de la comunicación. Se ha tomado como paradigma el hipertexto porque esta herramienta tecnológica ha supuesto la última gran revolución en el campo de la

comunicación ya que ha hecho posible, junto a las grandes sistemas de telecomunicación, que Internet sea una realidad constatable en nuestros días.

Siguiendo la línea metodológica de investigación propuesta, es decir, estudiar los medios desde un punto de vista de influencia social, se profundiza en las nuevas formas de comunicación desde la globalización, tanto económica como filosófica, que está ocurriendo en nuestros días y que inicia una nueva era cultural apoyada en los medios de comunicación de masas.

Por último, se propone un nuevo modelo de comunicación cuyas características principales pasan por la retroalimentación ilimitada tanto en lo cuantitativo como en la capacidad de superar barreras geográficas.

Esta línea metodológica empleada en la tesis se basa más en investigaciones cualitativas sobre la influencia de los medios en la sociedad, que en investigaciones estadísticas, que es el otro gran modo de entender la investigación en torno a los medios de comunicación de masas.

Por ello, esta tesis intenta abrir nuevas vías de investigación en lo referente a la comunicación global de la sociedad actual empleando, para ello, la realidad virtual como base tecnológica de un nuevo modelo social y comunicativo. Para ello, no se ha pretendido crear un modelo teórico alejado de la realidad más directa, sino que se ha relacionado con acontecimientos de la actualidad para, de esta forma, plantear una línea metodológica abierta a continuas renovaciones en función de los adelantos tecnológicos en el campo de la realidad virtual.

La televisión, la radio o el cine son medios de comunicación con una influencia notable, gracias a su estabilidad en la sociedad, producto de los muchos años de implantación. La realidad virtual no ha encontrado, todavía, su hueco dentro de los instrumentos masivos de telecomunicación, por lo que estamos sujetos a interpretaciones y posibles suposiciones de lo que puede suponer su aplicación dentro del ámbito comunicativo. El sorprendente desarrollo que está realizándose en el terreno de las telecomunicaciones -fruto del espectacular mercado que se está creando en torno a Internet- hará realidad el comunicarse en la gran red a través de un lenguaje puramente visual, característica fundamental de la realidad virtual, en detrimento de un lenguaje textual que es la base actual de Internet. Actualmente, sólo los grandes centros de investigación se comunican entre sí por medio de mundos artificiales compartidos. Es imposible, por tanto, en nuestros días, contrastar las teorías que van a ser expuestas en esta tesis con datos estadísticos. Se deja abierta, por tanto, nuevas vías de investigación para posibles tesis futuras que analicen la paulatina implantación de la realidad virtual como medio de comunicación generalista.

No obstante, siempre cabe la incertidumbre de un desarrollo tecnológico de la red que gire en otra dirección, por lo que la realidad virtual quedará como una experiencia de mundos compartidos por unos pocos afortunados. Si esto ocurriera, esta tesis no tendría más que un valor puramente hipotético. Personalmente, creo que esto no va a ocurrir ya que la posibilidad de crear espacios virtuales donde se produzcan intercambios, económicos y culturales, sin necesidad de conocer un determinado idioma, es una idea sumamente atrayente para todos aquellos mercaderes que ven en las grandes redes de comunicación una base estable para sus negocios.

Pero nuestra intención, por otra parte, es dejar claro que es la realidad virtual. Por este motivo, hemos querido dedicar un capítulo al contexto histórico de la realidad virtual resaltando los logros más importantes en este campo junto a los investigadores más notables. No es una tesis acerca de la historia de la realidad virtual, por lo que no están todas las personas que han hecho algún logro en este campo. No obstante, los centros de investigación más importantes están aquí expuestos junto a las personalidades más notables.

También, en este capítulo, hemos intentado aproximar la realidad virtual a su antecedente más cercano: el cine. De este modo, podremos llegar a comprender mejor de donde nace la idea del desarrollo de mundos virtuales con el objetivo de "engañar" a los sentidos.

Una vez ubicados en el contexto histórico, debemos conocer más en profundidad que es, concretamente, la realidad virtual. En este sentido, esta tesis ha intentado seguir la misma línea metodológica empleada por los investigadores de este campo. Un creador de tecnología virtual pretende crear una herramienta capaz de simular realidad. Para ello, debe conocer como funcionan tanto desde un punto de vista fisiológico como psicológico los sentidos en el ser humano. La mayor cantidad de información que llega a nuestro cerebro para su posterior procesamiento procede del sentido visual. Es necesario, por tanto, saber como funciona el sistema visual humano. Los ingenieros se han basado en los conocimientos de psicólogos y científicos, para desarrollar sistemas capaces de originar ilusiones visuales creíbles. Por este motivo, se ha introducido un tema acerca de la fisiología de los sentidos, en especial de la visión por las razones previamente expuestas, y, de este modo, adentrarnos en el fascinante campo de la percepción humana. Una vez conocidas las teorías más importantes, se han establecido una serie de hipótesis que, en nuestra opinión, pueden ser exploradas en otros campos científicos más especializados.

En el terreno de la realidad virtual, tan importante como conocer el funcionamiento de la percepción, resulta saber como se crean las imágenes de síntesis. No hay que olvidar que la realidad virtual es posible gracias a la evolución de la informática en el tratamiento y

generación de imágenes. La realidad virtual es un espacio ficticio de imágenes artificiales que se generan por ordenador, siendo la principal característica el tiempo real en el que deben ser creadas esas imágenes. La infografía no necesita de esta característica en sus imágenes, por lo que el grado de realismo es mayor, puesto que se tiene todo el tiempo necesario para lograrlo. La necesidad del tiempo real en la génesis de espacios virtuales es la principal causa de que sea tan necesario conocer las leyes perceptivas y, de este modo, omitir todos los detalles de realidad innecesarios para que nuestro cerebro se crea que está en un verdadero mundo con el que puede interactuar.

La base en la que se apoya todo sistema de realidad virtual está, desde este momento, asentada. El siguiente paso en esta tesis es dar a conocer los principales paradigmas de visualización, así como las herramientas más empleadas para interactuar con los mundos virtuales.

El capítulo dedicado a los paradigmas de visualización da a conocer todos los sistemas empleados, hasta este momento, para poder visualizar e interactuar con los espacios virtuales. El objeto de este epígrafe es dar a conocer el funcionamiento y las características de todos y cada uno de los distintos paradigmas, para tener una visión global y profunda de las distintas vías de desarrollo que ha tenido la tecnología de lo virtual, en función del tipo de aplicación al que se quería adaptar.

Hemos dedicado un capítulo especial a tres herramientas claves en todo sistema de realidad virtual. Tanto el casco estereoscópico, como el guante y el traje de datos se han convertido en el pilar básico de interacción con estas imágenes artificiales.

El casco estereoscópico o HMD (Head-Mounted Display) ha sido desde Ivan Sutherland, padre de la realidad virtual, el instrumento que más evolución ha tenido. Su misión, introducimos visualmente y de un modo interactivo en los mundos artificiales, es fundamental para que nuestro cerebro reciba las instrucciones necesarias y, de este modo, crear ilusión de realidad. La calidad de las imágenes generadas en el ordenador pueden perder su sensación de realidad, si la calidad que proporcionan los monitores del casco son de escasa calidad. Además, el casco nos ubica dentro del espacio virtual puesto que contiene los sensores necesarios para informar al ordenador de hacia donde estamos dirigiendo nuestra mirada.

Los mundos virtuales se construyen a partir del usuario, es decir, la ubicación en la que se encuentre el cibernauta es fundamental a la hora de crear las nuevas dimensiones y características del mundo virtual. Esta fue la razón por la que se investigó herramientas complementarias al casco estereoscópico. El guante de datos apareció como el utensilio capaz de proporcionar la tercera dimensión a los mundos virtuales que, con sólo el casco estereoscópico, no permitía introducimos en esta dimensión dentro de los espacios virtuales.

Por otra parte, el guante de datos está construido a base de sensores que aportan la información de la mano real para que la virtual pueda cumplir otros cometidos, tales como asir objetos e interactuar, con todos aquellos componentes que forman el espacio virtual. También, tanto el guante como el traje de datos permiten al usuario real, recibir sensaciones de rozamiento o de agarrar objetos, por ejemplo, que se producen en el mundo virtual.

La trascendencia, por tanto, de estas herramientas nos ha llevado a tratarlas como un tema aparte de los demás tipos de paradigma. Se podría afirmar que el casco, el guante y el traje de datos son la prolongación del cuerpo real dentro de los mundos virtuales. Y esta afirmación supone uno de los retos más apasionantes que surge de la interacción del individuo con la realidad virtual.

Una vez descrita en profundidad todas las características de los sistemas virtuales, se hace inevitable averiguar cuáles son las aplicaciones reales que, en la actualidad, se están llevando a cabo. Evidentemente, muchas de las aplicaciones que, en esta tesis, son descritas, habrán quedado ya anticuadas o habrán sido perfeccionadas. La razón principal reside en la evolución constante y acelerada en el mundo de la informática y las telecomunicaciones, lo que hace que cualquier avance nuevo queda viejo a los pocos meses. La intención de este capítulo, no obstante, no es más que hacer un balance de las aplicaciones que se han llevado a cabo con un notable éxito para tener una idea general de todo aquello que puede ser objeto de aplicación virtual. El cuerpo virtual en el que los cirujanos simulan las operaciones de alto riesgo, el diseño de aviones o cocinas, las clases virtuales de matemáticas o física, la interacción con moléculas, etc., son algunos de los ejemplos aquí expuestos y que, en nuestros días, están totalmente implantados como método de trabajo en muchas partes del mundo.

A través de todos estos capítulos se ha acercado el mundo de la realidad virtual a cualquier neófito en la materia, con el fin de que sepa distinguir perfectamente lo que significa interactuar con los mundos virtuales. No obstante, la profundización con la que se ha pretendido tratar los temas hace que los profesionales del sector de la comunicación tengan una visión clara de las posibilidades que la realidad virtual puede llegar a tener en el campo de la comunicación. No hay que olvidar que el negocio de los medios de comunicación de masas mueve, actualmente, el mayor volumen de dinero de todos los sectores económicos. Los empresarios de los medios han reconocido, hace tiempo y con otros medios, que los sentimientos viscerales o las reacciones intuitivas no son una fase fiable para la toma de decisiones. Aunque el sentido común ha menudo funciona, estos grandes empresarios de la comunicación necesitan una información adicional más objetiva para evaluar los problemas, sobre todo, cuando están en juego grandes cantidades de dinero.

Esta tesis pretende mostrar una visión objetiva de las posibilidades reales que, en la

actualidad, tiene la realidad virtual como medio de comunicación y como aplicación industrial. Sin embargo, la realidad virtual va a suponer, como hemos visto al principio de este capítulo, algo más que un nuevo instrumento tecnológico. Al igual que, en su día, ocurrió con los periódicos, la radio, el cine y la televisión, la realidad virtual va a marcar una nueva era en las relaciones sociales. El inicio de esta revolución viene marcado por la aparición de una nueva terminología en torno al medio, tal y como ocurrió con los otros nuevos medios. El último capítulo de esta tesis pretende reunir todos aquellos conceptos que han surgido a partir de la aparición de la realidad virtual de un modo generalizado entre el gran público. Así, se pueden llegar a evitar todos los errores etimológicos que se están produciendo producto de la falta de información que muchos periodistas tienen sobre este tema y que hacen llegar al receptor de sus mensajes.

La conclusión de esta tesis es intentar demostrar como la realidad virtual supone un nuevo paso en la evolución del modo de comunicar que, desde sus orígenes, ha fabricado el ser humano y que está conduciendo a lo que Macluhan denominó "aldea global". También, es objeto de conclusión demostrar que la tecnología puede acentuar las diferencias sociales debido a la necesidad que tienen los diferentes pueblos de contar con alta tecnología para su desarrollo. La tecnología, por tanto, puede suponer un progreso pero, por otro lado, puede llegar a convertirse en la barrera principal para un desarrollo sostenido del conjunto de la población de este planeta.

Los límites que nos hemos marcado son tratar estos ámbitos de investigación desde el punto de vista de la comunicación y, aunque se debería tener en cuenta otros campos tan importantes como el económico, no está dentro del marco metodológico del que parte la realización de esta tesis.

No obstante, el campo científico de los procesos comunicativos engloba en su estudio otras áreas de investigación. La sociología, la psicología, la biología forman parte de cualquier estudio comunicativo. En esta tesis se han tenido en cuenta todas las consideraciones que estas materias pueden aportar a la investigación de la realidad virtual como instrumento de comunicación. El nuevo espacio comunicacional que aporta la realidad virtual forma parte de un nuevo modo de entender las relaciones humanas, puesto que propone operar directamente con símbolos en detrimento de los códigos lingüísticos que, durante toda la historia de la humanidad, han separado culturalmente a los pueblos. La unificación del código hace más real la idea de "aldea global", "mercado único", "era de la información" que tan cercana parece en nuestros días.

Esperamos que esta tesis suponga un paso adelante en la comprensión de lo que supone la revolución tecnológica para el conjunto de la sociedad. Además, esperamos que abra nuevas

vías de investigación que analicen en profundidad otros aspectos y, de este modo, sentar criterios filosóficos en beneficio de una mejor utilización y distribución de los recursos tecnológicos en beneficio de todos los pueblos.

Capítulo 2.

REALIDAD VIRTUAL: AL OTRO LADO DEL ESPEJO

El Conejo Blanco se caló las gafas: "¿Por dónde place a Vuestra Majestad que empiece?", preguntó.

"Comenzad por el principio", indicó gravemente el Rey, "y continuad hasta llegar al fin; entonces, parad". Carroll, Lewis (1996, 178)

El hombre, desde sus orígenes, ha intentado copiar o imitar la realidad que le rodeaba. Según Palazón, A. (1998, 13) la imagen, por su propia naturaleza, evoca *un mundo imaginario que se encuentra anclado en nosotros como una costumbre en la que la relación entre dicha imagen y su modelo se plantea como una especie de ideal, de absoluto, del parecido perfecto*. El bisonte pintado en la caverna era una forma de atrapar el alma del animal para que su caza resultara más fácil. Los materiales empleados por los hombres que vivían en estas cavernas eran tintes naturales extraídos de plantas, es decir, copiaban la realidad con los componentes que tenían a su alcance.

La búsqueda de nuevos materiales y técnicas para copiar la realidad han seguido evolucionado hasta hoy en día. Las técnicas pictóricas y, posteriormente, las fotográficas han tratado de simular la realidad aunque nunca lo han llegado a conseguir del todo. La evolución en las máquinas ha llevado a sintetizar estas técnicas y materiales para simular las técnicas de representación, integrándolas en una herramienta.

La máquina, o más concretamente, el ordenador, ha supuesto un paso adelante en este intento de simular la realidad, puesto que ha sido capaz de crearla. Gracias a las técnicas informáticas se han generado mundos artificiales en los que se puede incorporar plenamente, el cuerpo físico y real del usuario u observador de ese mundo virtual. El ordenador se ha convertido, por tanto, en el medio más universal de representación además de aportar el factor de interacción.

El ordenador construye las realidades a partir de una reducción de todo el universo a fórmulas matemáticas. Este sincretismo reduce la complejidad de todos los factores constituyentes de realidad a un sistema binario en el que todo se genera a partir de dos dígitos.

La matemática se convierte, de este modo, en el génesis creador de vida en mundos artificiales que el hombre es capaz de modificar mediante simples variaciones en fórmulas matemáticas.

La realidad, es decir, el entorno en el que el ser humano circunscribe su acción, ha sido reducida a simples códigos numéricos. Pero esta realidad no es la auténtica, sino que es la que se ha dado en llamar como *realidad virtual*.

Aguirre Romero, J. M^a. (WWW.UCM.ES/INFO/ESPECULO/NUMERO2/MEMORIA.HTM) afirma que estas dos palabras constituyen, no obstante, una auténtica paradoja o, mejor, un oxímoron, ya que realidad, es *aquello que tiene existencia verdadera y efectiva*, mientras que virtual puede ser definido como *aquello que tiene virtud para producir un efecto, aunque no lo produce de presente*. El término realidad virtual, por tanto, se refiere a todo aquello que es y que no es, o lo que es igual, *aquello que tiene existencia aparente y no real*.

La palabra virtual proviene del latín *virtus* y significa fuerza, energía, potencia. Virtus, por tanto, tiene que ver con lo real puesto que es lo que hace actuar para que se produzca un efecto. Lo virtual entra, desde su principio epistemológico, en el orden de lo real.

Una planta está contenida virtualmente en su semilla, o un cuadro está virtualmente esbozado en los colores que componen la paleta del pintor. Lo virtual está siempre presente aunque esté escondido, con lo que debemos tratar de revelar toda la extensión que subyace a la creación de dichos mundos. No obstante, la principal cualidad de los espacios virtuales es que han sido concebidos para un fin último que, en cualquier caso, nuestros sentidos son capaces de entender aunque tengan una apariencia de no realidad.

La percepción humana se enfrenta a experiencias sensoriales de este tipo, puesto que los sueños, las alucinaciones o los espejismos estarían englobados entre estas características. Sin embargo, estas sensaciones no son voluntarias puesto que, de otro modo, nos enfrentaríamos a un alejamiento de nuestro entorno que desembocaría en nuestra desaparición como especie. La naturaleza ha hecho que seamos conscientes de la realidad que nos rodea y que, inconscientemente, no podamos escapar a ella.

La realidad, por tanto, es construida a través de todas las informaciones que proporcionan los sentidos del espacio y el tiempo. La dualidad se produce entre lo que se percibe y lo que es, entre lo que está dentro de nosotros y lo que está fuera.

Las irrealidades, producidas en sueños o alucinaciones, son alteraciones en esos datos que proporcionan los sentidos, por lo que el cerebro crea nuevas realidades de las que el ser humano no es consciente ni las domina. Tanto en un caso como en otro, lo que importa es su característica de fenómeno físico que, por esta característica, gozan de realidad. Nuestro cerebro es capaz de procesar objetos que existen y objetos que no existen, como los que viven

en nuestros sueños y alucinaciones.

El hombre, no obstante, ha buscado siempre la desconexión del mundo real. El consumo de sustancias psicotrópicas pudo ser el inicio de estas experiencias, ya que se producen al consumir ciertas sustancias que encuentras en el mismo entorno en el que el hombre desarrolla sus actividades.

Pero el hombre no se ha quedado ahí en esta búsqueda y, a través de actividades artísticas como las representaciones teatrales, ha tratado de simular la realidad en espacios totalmente ficticios. La literatura ha seguido este camino aportando al lector la posibilidad de recrear espacios irreales en su mente, creando mecanismos de identificación con los protagonistas.

La realidad virtual crea espacios de actuación pero no crea mecanismos de identificación, sino que somos nosotros mismos los protagonistas de las acciones que se desarrollen en ese espacio de posibilidades. Con la realidad virtual actuamos directamente sobre los sentidos y, además, no influimos en el entorno que nos rodea por lo que su condicionamiento social es menor.

Y en efecto, el cristal del espejo se estaba disolviendo, deshaciéndose entre las manos de Alicia, como si fuera una bruma plateada y brillante.

Un instante más y Alicia había pasado a través del cristal y saltaba con ligereza dentro del cuarto del espejo. Carroll, Lewis (1995, 39)

Y lo que Alicia pudo experimentar, una vez traspasado el espejo, no tenía nada que ver con aquella realidad que ella conocía al otro lado del mismo. Alicia tenía ante sí una nueva realidad, distinta, pero real. Del mismo modo, las imágenes virtuales no son simples ilusiones sino que aquel que pase a través del cristal, que supone la pantalla del ordenador, tiene la posibilidad de encontrar nuevas experiencias "palpando" las imágenes.

Alicia, a pesar de todo, tenía frente a ella un universo real dentro de la irrealidad que suponía. Alicia no podía cambiar nada de aquello con lo que se encontraba aunque, a veces, lo deseara con mucha fuerza. Alicia no sabía que en los nuevos mundos virtuales todo está sujeto a modificación debido a su origen matemático. Cualquier forma de espacio, incluso aquellos que no se ajustan a las reglas de las leyes universales, pueden ser representados. Todas las realidades, por tanto, pueden ser creadas por lo que las aplicaciones de la realidad virtual a la astrofísica son innumerables.

Alicia podría haber jugado a cualquier juego que se la hubiera ocurrido y, lo más

importante, podría haber cambiado los mundos virtuales a su capricho dejando de estar como mera espectadora pasiva. No habría encontrado limitaciones: desde un mundo onírico a otro "real", o de un universo científico a uno paradójico, Alicia los hubiera podido tantear con sólo pulsar un botón para introducir un nuevo cambio en ese orden preestablecido. Alicia, todos lo sabemos, hubiera quedado satisfecha.

La realidad virtual hace posible lo que hubiera podido ser el sueño de Alicia en su País de las Maravillas, ya que el conjunto de estas realidades, tal como lo entiende Quéau (1995, 19), *no son representaciones analógicas de una realidad ya existente, sino simulaciones numéricas de realidades nuevas*. Lo cierto es que lo real nunca se parece a una imagen, mientras que la imagen intenta siempre parecerse a la realidad. Es importante tener en cuenta que las técnicas de representación virtual se basan en el número, por lo que no participan de lo real. Para Pitágoras, el número (arithmos) ya era la esencia última del mundo y, por ende, de lo real. El número, símbolo de la domesticación de la naturaleza, se ha convertido en el mediador universal. La imagen que procede del número tiene un mayor dinamismo, al poder ser transformada de un modo continuo: además, posibilita una mayor visión del mundo puesto que se puede representar el universo en todas las escalas y modos imaginadas. El espectador deja de existir para, gracias al número y sus cualidades de manejabilidad, convertirse en creador de imágenes. El resultado es una nueva realidad numérica que unifica todos los modelos sociales, formas de concebir y sentir el mundo.

Pero, ¿qué es lo real? Lo real podría ser todo aquello que no podemos controlar, que no depende de nosotros.

Y, ¿lo virtual? Pues podría definirse como lo contrario, es decir, todo aquello que es fácilmente manipulable a nuestro antojo. Lo virtual nos obliga a olvidarnos de nuestras sensaciones para centrarnos en una representación o simulación de lo real, que es de lo que se trata. Dentro de ese mundo virtual nosotros no somos reales, aunque lo controlemos, sino que somos una parte más de la virtualidad del entorno y nos tenemos que integrar con las apariencias y percepciones adecuadas a dicho entorno.

Tantas voces daban que Alicia no pueden contenerse y les dijo:

- ¡Callad! Que lo vais a despertar como sigáis haciendo tanto ruido.

- Eso habría que verlo; lo que es a ti de nada te serviría hablar de despertarlo - dijo Tararí - cuando no eres más que un objeto de su sueño. Sabes perfectamente que no tienes ninguna realidad. Carroll, Lewis (1995, 89)

Alicia se había convertido, tras atravesar el espejo, en una parte más del mundo fantástico en el que había entrado. Alicia no había dejado de tener vida propia y podía interactuar con todo aquello que se encontrase, pero estaba supeditada a las reglas y manejos de los personajes que integraban ese mundo de sueños dentro de los sueños.

Alicia se convierte, sin quererlo, en un avatar de su misma persona. Los avatares o actores virtuales son personajes, hechos a imagen y semejanza del usuario, para interactuar en esos espacios virtuales. No obstante, este punto será objeto de estudio posteriormente.

El hecho es que Alicia había dejado de ser real en el mundo en el que había entrado, puesto que no atendía a las características de los demás miembros de la comunidad. Alicia había traspasado el umbral de la realidad para pasar a un mundo de sueños y, por tanto, Alicia era algo irreal para los personajes irreales que vivían dentro de ese mundo irreal.

Lo real se convierte en algo paradójico al transformarse en virtual. Con lo virtual ocurre lo contrario, por lo que mundo real tomado como simulación conceptual y mundo virtual como simulación sensorial pueden encontrarse entrelazados en toda su extensión.

Las imágenes virtuales gozan de realidad puesto que en el momento en que son manipuladas o falseadas adquieren cierta vida propia, es decir, entran en el campo de lo real puesto que el usuario tiene la posibilidad de interactuar con ellas, tal y como fueron creadas después de su manipulación.

Las imágenes virtuales deben simular la realidad pero, al mismo tiempo, deben aportar más posibilidades de interacción que ella, puesto que su fin último es el de crear nuevas realidades. No obstante, los mismos sentidos que nos proporcionan los datos sobre la realidad, son los que nos transmiten los datos sobre lo virtual para que, posteriormente, nuestro cerebro los procese como realidades.

Las imágenes virtuales se crean con el fin de mejorar sustancialmente la realidad material, creando modelos para manipularlos y aplicarlos, una vez perfeccionados, a lo real.

Los modelos son creados como un intento de mimesis de la realidad. Para Platón, la mimesis parte de un contexto narrativo puesto que son los recitadores los que imitan a los personajes. Aristóteles, en cambio, trata la mimesis como imitación representativa. Para Andrés Bazin, el arte se ha movido siempre entre la necesidad de expresión y la de mantener la ilusión y fue el invento de la perspectiva, la que ha dado un papel predominante a ésta última. Sin embargo, para Nelson Goodman en su libro "Los lenguajes del arte" el mundo no puede copiarse puesto que el sistema visual del ser humano interpreta los datos que recibe de lo real para, de esta forma, construir la propia realidad humana. Estas dos visiones no son más que un claro exponente de las diversas teorías socio-políticas creadas a lo largo de la historia. La

imagen usa sus propios códigos para crear un mensaje y, con frecuencia, no usa la mimesis de la realidad para llegar a este fin. No obstante, a lo largo de la historia el hombre ha querido siempre emular la realidad y se han mejorado los distintos medios utilizados hasta alcanzar un parecido más o menos fiel a los referentes.

Las imágenes clásicas sólo han adoptado la imagen de su modelo, pero nunca han entrado en la profundidad de la sustancia de ese modelo. El enorme logro de las imágenes virtuales es que son capaces de introducir un alto grado de experimentación perceptual. El modo de hacerlo es mediante un programa informático que lo desarrolle y, a partir de ese modelo, interaccionar con el mismo en toda su extensión. Quéau (1995, 31) entiende que las imágenes virtuales son *representaciones visibles de modelos conceptuales abstractos*. El usuario virtual puede tocar, sentir y recibir datos sensibles de ese modelo, al igual que Alicia pudo sentir plenamente las sensaciones de su mundo fantástico. La posibilidad que aporta la informática de variar una imagen en tiempo real, hace posible que podamos conceptualizar todos los estados posibles de los que pueda gozar el modelo, por lo que se multiplican las posibilidades de interacción. *El mundo virtual se modela y se entiende al ser experimentado a la vez que se deja ver y percibir volviéndose inteligible*. Quéau (1995, 24).

- ¡Anda! ¡Pues si te está soñando a ti! -exclamó Tarará batiendo palmas en aplauso de su triunfo -. Y si dejara de soñar contigo, ¿qué crees que te pasaría?

- Pues que seguiría aquí tan tranquila, por supuesto -respondió Alicia.

- ¡Ya! ¡Eso es lo que tú quisieras - replicó Tarará con gran suficiencia -. ¡No estarías en ninguna parte! ¡Cómo que tú no eres más que algo con lo que está soñando! Carroll, Lewis (1995, 88).

Philippe Quéau afirma que estar en un mundo, tanto real como virtual, es sentir las relaciones que se establecen en esos mundos, es decir, vivir la relación que se establece entre pensamiento y conciencia. Esta simbiosis se produce en los mundos virtuales que, gracias a esto, entran a formar parte de lo real ya que los mundos virtuales no tratan de sustituir lo real sino que lo representan para que nosotros lo podamos comprender mejor. Para Alejandro Pisticelli (1995, 81) *la realidad virtual es una realidad alternativa" en la que "no se trata de sintetizar una máquina sino la propia realidad*. La realidad virtual de la que habla Pisticelli pasa por una nueva forma de combinar el cuerpo humano con la máquina y por una concepción totalmente original de concebir y manipular el espacio.

La realidad virtual afecta a nuestro mundo perceptivo ya que, al igual que los espejos

de Alicia, con ella tenemos la posibilidad de atravesar la pantalla para introducirnos en otros mundos en los que lo tecnológico y lo social, lo biológico y la máquina, lo natural y lo artificial, formar parte de un nuevo universo común concretado en espacios preprogramados y, por tanto, modificables según nuestras necesidades.

- Voy a seguirla con la mirada hasta que llegue al último estante y luego, ¡vaya sorpresa que se va a llevar cuando tenga que pasar a través del techo!

Pero incluso esta estrategia le falló: la "cosa" pasó tranquilamente a través del techo, como si estuviera muy acostumbrada a hacerlo. Carroll, Lewis (1995, 103).

Alicia como cualquiera de nosotros, no estaba nada acostumbrada a que las “cosas” atravesaran los techos y las paredes. Para ella, era imposible, puesto que en su mundo real no existía tal posibilidad ni se pensaba que atravesar paredes pudiera producirse algún día.

En el País de las Maravillas que supone la realidad virtual, esto se ha convertido en normal.

En los mundos virtuales no existen barreras físicas puesto que el espacio se convierte en una imagen que hay que formalizar previamente. El espacio virtual responde perfectamente a las leyes euclidianas, es decir, a los tres ejes que constituyen el espacio, por lo que llega a una gran sensación de realismo; pero, también, existe la posibilidad de violar estas leyes y experimentar sensaciones totalmente descorrientes.

La libertad de creación espacial es absoluta. Hasta la aparición de la realidad virtual el espacio, según Kant, era una representación a priori para que el sujeto se relacionara con las cosas. Para Kant, por tanto, el espacio debe existir a priori, puesto que se concebía como condición previa a la existencia de las cosas.

En la realidad virtual el espacio deja de ser relevante, ya que no es condición necesaria para la experimentación. El espacio es un objeto más de formalización que puede ser o no ser experimentado, al mismo nivel que los demás componentes del mundo virtual. El espacio virtual es una imagen de un modelo, y sólo adquiere el rol de realidad sustancial cuando se experimenta con él, al igual que ocurre con los demás objetos.

Lo más curioso de todo es que los árboles y otros objetos que estaban alrededor de ellas nunca variaban de lugar: por más rápido que corrieran nunca lograban pasar un sólo objeto. Carroll, Lewis (1995, 60).

A partir de este punto, el espacio es totalmente manipulable y, por tanto, se puede programar para que produzca efectos preconfigurados y deseados. Si nos encontramos ante una aplicación de biología molecular el espacio pasa a un segundo plano puesto que, lo más importante, es la interacción con las moléculas que conformen el experimento. Por el contrario, si estamos ante una aplicación de arquitectura virtual el espacio pasa a ser el eje central en torno al cual se origina dicha aplicación. Lo esencial es que en ambos casos, el espacio es un elemento constitutivo del sistema y no una condición a priori para la existencia de la aplicación. Puede ser manipulado hasta tal punto, que podemos atravesar las barreras físicas, que impone su propia constitución, para gozar de nuevas experiencias.

Esta característica de la realidad virtual la hace muy útil como herramienta de experimentación dentro del campo científico. El investigador siempre ha buscado el modo de crear modelos de aquello que estaba estudiando para experimentar con él y aplicar los resultados a la realidad. El modelo proporciona tangibilidad a cualquier teoría sin afectar a la estructura de lo investigado. Los modelos son capaces incluso de representar lo abstracto y, en este aspecto, la realidad virtual se convierte en instrumento necesario para cualquier tipo de modelización teórico-práctica. Además, se puede experimentar el modelo virtual confrontado sus características internas o comparándolo con el mundo real. Como hemos visto el espacio, como concepto abstracto, puede llegar a ser modelizado virtualmente y experimentado en cualquiera de sus concepciones.

La imagen de síntesis aporta otras cualidades, como son la capacidad de interacción y la generación en tiempo real. Estos dos atributos hacen de la imagen virtual un lugar a explorar como espacio puro, es decir, como experiencia en sí misma.

Al momento siguiente sintió como el vagón se elevaba por los aires y con el susto que esto le dio agarró a lo que tuviera más cerca y dio la causalidad de que esto fue la barba de la cabra.

Pero la barba pareció disolverse en el aire al tocarla y Alicia se encontró sentada tranquilamente bajo un árbol... mientras el mosquito (pues no era otra cosa el insecto con el que había estado hablando) se balanceaba sobre una rama encima de su cabeza y la abanicaba con sus alas. Carroll, Lewis (1995, 70).

El mundo fantástico de Alicia era un mundo colectivo en el que coexistían distintos seres con un alto grado de relación social. Los espacios virtuales ofrecen, también,

posibilidades de vida social pues en ellos pueden coexistir toda clase de espacios sociales como calles, parques, etc., donde los usuarios -que, al igual que en el País de las Maravillas, pueden adoptar distintos aspectos corporales- interaccionan unos con otros. Los mundos virtuales son, y deben ser, lugares de encuentro en los que la presencia física no se hace necesaria puesto que el cuerpo virtual cumple todas las funciones del usuario que interacciona dentro de esa comunidad.

Las realidades virtuales pasan de ser algo ficticio a convertirse en algo que nos acerca más a lo real, ya que nos proporcionan la posibilidad de interaccionar con mundos que están dentro de lo real, pero que nunca hubiéramos sido capaces de interaccionar con ellos. El espacio virtual nos abre nuevas vías de reflexión sobre el espacio real, al poner en nuestras manos formas de interacción con realidades circundantes que no podemos tocar.

La interacción con una molécula de carbono o con una nave que aterriza en Marte son sólo dos ejemplos de realidades inalcanzables para el hombre que, gracias a la realidad virtual y a su facilidad para integrarlos en sus mundos artificiales, se han podido llegar a experimentar y manipular.

La imagen virtual modifica, de este modo, nuestra relación con el mundo real puesto que proporciona a los sentidos otros modos de percibir el espacio. Los mundos virtuales abren nuevas vías de conocimiento al establecer nuevos vínculos entre los modelos que en ellos se generan y los fenómenos que representan.

La utilización de realidad virtual determina la forma de adquirir conocimientos, puesto que las leyes perceptivas, inherentes a la propia condición humana, se ven trastocadas en el nuevo orden perceptual que se alcanza en los espacios virtuales.

La percepción humana no obstante, reacciona con extrañeza ante este fenómeno y, al igual que Alicia, le resulta sorprendente el hecho de que el cuerpo - en este caso, virtual- pueda atravesar paredes y, de este modo, romper las barreras físicas del espacio. De todos modos, cuando los sentidos se habitúan se llega a un nivel de adaptación plena y, en muchos casos, de satisfacción puesto que, en los mundos virtuales, se pueden superar todos los límites físicos humanos como el de la incapacidad para volar. El campo de posibilidades perceptivas se amplía hasta límites insospechados, virtud ésta, de los mundos virtuales, que abre el abanico de nuevas sensaciones nunca antes experimentadas por el ser humano.

Alicia pasó de la extrañeza ante estos hechos al disfrute pleno de todas las posibilidades espaciales que surgían en su País de las Maravillas. Nosotros podemos llegar a sentir las mismas sensaciones en nuestros mundos virtuales.

Pero el ser humano no goza de libertad perceptiva plena, sino que es conveniente tener

conciencia del lugar porque, de otro modo, entraríamos en situaciones de desorientación.

La primera característica espacial que nuestros sentidos necesitan para tener conciencia de un lugar es la distancia. Al entrar en un determinado espacio, lo primero que hacemos es tomar los puntos de referencia con respecto al punto en el que nos encontramos y, de este modo, ubicarnos dentro de la superficie que nos rodea.

En los espacios virtuales, las distancias de nuestros puntos de referencia cambian constantemente ya que el modo en que se desplaza nuestro cuerpo virtual es totalmente diferente a como lo hace nuestro cuerpo real, el cual no es ni será nunca, virtual. Además, los espacios virtuales pueden llegar a ser totalmente ficticios o imaginarios, lo que supone un extrañamiento natural al no encontrar puntos espaciales de referencia totalmente definidos e identificables como los que se encuentran en los espacios físicos reales. Los espacios virtuales no tienen porqué coincidir con las representaciones mentales que nuestro cerebro tiene almacenadas según los espacios reales. Un lugar real nos posiciona dentro del mismo para ubicarnos, puesto que nuestro cuerpo, el real, no es una metáfora de ningún concepto ni un punto definido del espacio, sino que nuestro cuerpo es la posición en sí. Las posibilidades de volar en el espacio o de librarse de los impedimentos físicos que atan a nuestro cuerpo en lo real, nos la podemos encontrar en los mundos virtuales, los cuales tratan a nuestro cuerpo representado, es decir, nuestro cuerpo virtual, como unidad espacial dentro del espacio que se manipula y transforma como cualquier otro objeto que lo componga.

No hay que olvidar que los espacios virtuales no son más que bases de datos en los que cada punto puede ser la puerta de entrada a otras bases de datos y, por lo tanto, a otros espacios. Y, en medio de este laberinto, nuestro cuerpo debe sentirse ubicado para buscar una mayor integración en el sistema y, para ello, debe ser tratado como un elemento más del mismo que puede llegar a ser manipulado. Nuestro cuerpo real permanecerá siempre constante en su ubicación real, pero nuestro cuerpo virtual puede llegar a poseer cualquier forma en los espacios virtuales, cuya mejor característica, es precisar su capacidad de variabilidad debido a su constitución numérica.

El número, por tanto, es el responsable de reemplazar la interacción sensoriomotriz por una interacción sensorio-simbólica. Esta nueva forma de percibir crea espacios mentales novedosos en los que los sentidos establecen relaciones más cercanas a la inteligencia abstracta que a la concreta.

"A ver, ¿quién soy?. Decidme eso primero y luego, si me gusta serlo, subiré, y si no me quedará aquí abajo hasta que sea otra persona que me guste más." Carroll, Lewis (1996, 47).

Alicia, al igual que nos ocurre a cualquiera de nosotros en muchas ocasiones quería ser otra persona. No obstante, ella se asustó mucho cuando sintió que su cuerpo se deformaba tras comer el pastelito que se encontró encima de la mesa. Alicia pensó que ya no era ella, sino que había surgido, en ese preciso instante, otra Alicia encarnada en un cuerpo extraño.

Al igual que le ocurrió a la protagonista del cuento del País de las Maravillas, el usuario virtual siente su cuerpo descarnado al interaccionar en los mundos artificiales. Esta separación entre lo real y lo virtual puede llegar a provocar un aislamiento sensitivo, producto de un desdoble de la personalidad. El cuerpo físico existe pero las sensaciones que reciben nuestros sentidos le llegan a un cuerpo inexistente, que puede llegar a adquirir apariencias extrañas en un mundo que no es el real aunque nuestros sentidos traten de captarlo como tal.

En los mundos virtuales somos capaces de situarnos por encima de nuestro cuerpo, tal y como si estuviéramos viviendo una experiencia mística de desdoblamiento entre el cuerpo y el alma. Incluso, la apariencia de nuestro yo virtual puede ser la de un objeto o un animal fantástico o un ser inanimado. La mejor manera de sentir esta progresiva descarnación resulta de la progresiva indiferencia en la sensación del rostro. El primer dato que tomamos de una persona con la que nos comunicamos en el mundo real es su rostro; en los mundos virtuales, el rostro empieza a carecer de importancia puesto que la interacción se produce con cualquier objeto virtual que exista en ese mundo y que puede ser el yo de otra persona virtual. El rostro, por tanto, deja de simbolizar el yo, para pasar a convertirse en otra variable interactiva del mundo virtual.

No obstante, el aspecto virtual tiene su importancia puesto que, tal como afirmaba Sartre, la apariencia revela la esencia y no la esconde.

La realidad virtual es, en todo caso, un universo de simulación en el que, gracias a su origen matemático que le dota de variabilidad, ningún aspecto real o imaginario, resulta irrealizable.

"... a Alicia le habían sucedido cosas tan extraordinarias aquel día que había llegado a pensar que poco o nada era en realidad imposible". Carroll, Lewis (1996, 37).

Alicia sentía que, en su País de las Maravillas, era omnipotente ya que, desde el punto de vista perceptivo, su cuerpo carecía de ataduras. La realidad virtual proporciona experiencias incorpóreas e idealizadas. Todos los dispositivos necesarios para interaccionar en los espacios

artificiales se encuentran en función del cuerpo: el casco estereoscópico en función de la vista y el oído, el guante de datos en función del tacto,...



En el arte, esto ha provocado que el observador moderno tenga un sentido de la visión que se convierte en un proceso corporal, en el que todos los sentidos son influenciados. Se produce, por tanto, una visión corpórea de del arte mientras que, como afirma Jonathan Cray (1994, 34), *el modelo clásico de visión se entendía de acuerdo con la óptica geométrica: una relación incorpórea entre el que percibe y el objeto de la percepción, un proceso externo llevado a cabo por un individuo con unos marcados límites entre lo externo y lo interno, el sujeto y el objeto, todo ello enmarcado por un espacio estable.*

La óptica perceptiva que definía las cualidades del hombre de principios de siglo se ha ido transformado a medida que evolucionaba la iconografía. El hombre ha pasado de ser mero

espectador a integrarse plenamente en el espacio y, por ende, en la obra de arte. Además, se delega la interacción con el mundo virtual en manos de sujetos idealizados cuya óptica visual varía en función de las necesidades. En realidad, hemos pasado de ser espectadores a usuarios del espacio, tanto artístico como científico, por lo que nuestras constantes perceptivas se sienten trastocadas.

Ya no somos un todo integrado en un cuerpo, sino que podemos llegar a ser una forma desintegradora que nos aleja de nuestro cuerpo pero que, al mismo tiempo, nos conduce a él. A pesar de todo, nos sentimos vivos si sentimos nuestro cuerpo.

- *¡No soy ningún pájaro!*

- *¡Si lo eres! - le aseguró la oveja: - Eres un gansito. Carroll, Lewis (1995, 104).*

Una de las primeras experiencias de simulación de realidad nos la brindaron los griegos con sus representaciones de teatro. En ellas, imitaban la realidad en un mundo material y físico. Con esto, lo que conseguían era sentar las bases para que los lectores crearan sus universos ficticios basándose en la metodología del teatro clásico. La percepción humana se fue adaptando a esta circunstancia y provocó que, en siglos posteriores, la lectura se convirtiera en la forma más desarrollada de creación imaginaria, ya que eran los propios lectores los que, en su mente, creaban y siguen creando el mundo ficticio en el que se transcurre la acción literaria. La escritura se convirtió en la primera herramienta de creación de realidades virtuales al encerrar las fantasías en hojas de papel para que otros pudieran renacerlas. De esta forma se fue cimentando toda la psicología asociada a la cultura occidental.

En nuestros días, el cine permite plasmar todas esas ilusiones en imágenes por lo que el espectador se convierte en sujeto pasivo que recibe sensaciones procedentes de una pantalla.

La realidad virtual ha supuesto un paso atrás, en el sentido de que el espectador vuelve a ser el que crea su propio universo imaginario e interactivo y desarrolla un mundo que él mismo imagina.

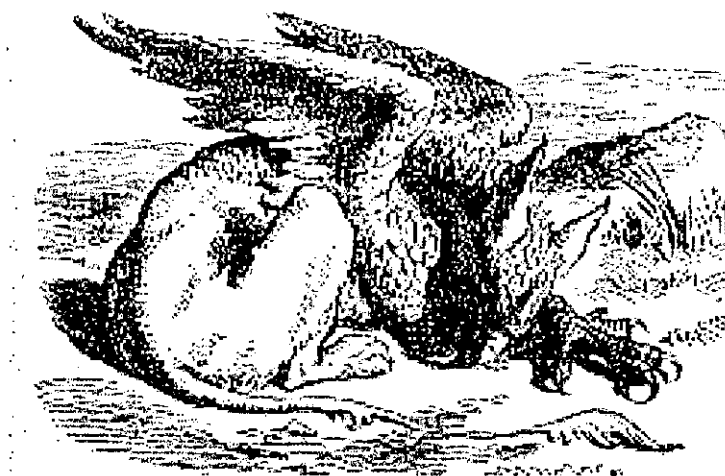
Al poco rato se encontraron con un Grifo¹ profundamente dormido al sol. (...)

Entonces soltó una carcajada burlona: "¡Qué gracia!", dijo, hablando un poco consigo mismo y un poco con Alicia.

"¿Qué es lo que tiene gracia?", preguntó Alicia.

¹ *Animal mitológico mitad dragón-mitad ave.*

"¡Hombre, pues ésa!", contestó el Grifo refiriéndose a la Reina. "Ella se lo imagina todo..." Carroll, Lewis (1996, 148).



Pero el gran salto adelante es la capacidad de interacción con el mundo virtual. Los libros nos dan la posibilidad de soñar mundos; la realidad virtual, además de gozar de esta característica, nos proporcionan la capacidad de crearlos e interactuar con ellos, como si fuéramos los protagonistas reales de nuestro propio sueño modificando, incluso, nuestra forma.

Esta descarnación fisiológica del propio cuerpo provoca nuevos problemas de concepción cultural. Platón afirmaba que el cuerpo es una atadura para el ser humano porque esta irremediamente unido a los objetos sensibles. El cuerpo no es importante ya que lo realmente válido es el mundo de las Ideas formado por conceptos en su estado puro.

Platón hubiera encontrado en la realidad virtual la afirmación más feaciente de sus ideas. El cuerpo deja de ser y estar y pasa a ser una representación, es decir, el cuerpo virtual se convierte en una nueva forma de presentarnos ante un mundo totalmente ilusorio. Esta simbiosis entre cuerpo real - que sigue siendo necesario como fin último al que se dirigen y procesan las sensaciones recibidas en el mundo virtual - y cuerpo artificial, produce un desdoblamiento de personalidad en el que, uno de ellos, puede ser prefijado. Los actores virtuales, como actuantes en el mundo virtual, se prefiguran como entes al servicio del usuario al que representan. Estas representaciones ficticias deben ser dotadas de vida, previamente a su introducción en el mundo virtual, para que, de este modo, puedan desarrollar una vida real dentro de la realidad del mundo virtual. En esta preprogramación se les puede dotar de una personalidad amable, austera, egoísta, espléndida, etc., además de crearlos a imagen y

semejanza del usuario al que representan o dotarles de una forma imaginaria, por lo que, en función a estas características previamente establecidas, establecerán sus roles en la convivencia que se genera dentro de estas comunidades virtuales.

"Podría contarles mis aventuras, pero son las que empezaron esta mañana", dijo Alicia tímidamente; "no vale la pena empezar por las de ayer porque entonces era yo una persona diferente". Carroll, Lewis (1996, 162).

En los mundos virtuales nada es constante por definición. Todo es susceptible de ser modificado. Cada día podemos tener una personalidad diferente en nuestros viajes virtuales o ser clonados para tener otro yo dentro de la red. Esta posibilidad trae consigo muchos conflictos que más tarde desarrollaremos. Alicia era consciente de ello: el ayer no valía porque el hoy es totalmente diferente.

También, el espacio virtual deja de tener la característica de constancia, por lo que es más difícil la ubicación al faltarnos puntos de referencia. Nuestro reflejo en ese mundo necesita de esta aleatoriedad para poder sobrevivir dentro del espacio virtual. La necesidad de tener puntos de referencia estables para que nuestro sistema perceptivo procese los datos sensitivos que nos llegan del otro lado del "espejo", hacen de nuestro cuerpo real el único eslabón de la cadena que siempre permanece constante. La necesidad de "engañarlo" para hacer creer al cerebro que nuestra realidad es, sin lugar a dudas, la que procede del mundo virtual, ha hecho que se desarrollen herramientas para posibilitarlo.

Las imágenes de síntesis son, en esencia, abstractas a pesar de presentar un aspecto visible. Su origen abstracto proviene de su origen matemático, es decir, cualquier imagen se forma a partir de cálculos basados en ceros y unos. Esta característica la hace merecedora de una frialdad que el ojo, a primera vista, percibe y, en cierto modo, rechaza como real. No hay que olvidar que el setenta y cinco por ciento de la información que recibe nuestro cerebro para su posterior tratamiento, proviene del sentido de la vista. Los mundos virtuales no dejan de ser una imagen que intenta simular la realidad pero que, en ningún caso, la emula totalmente.

La primera reacción ante un mundo virtual es de frialdad y de alejamiento. No obstante, se han creado herramientas que intentan proporcionar características interactivas y simulativas de tal modo que se puede engañar a los sentidos y, de esta forma, hacerlos creer que el individuo se encuentra en un espacio figurativo de interacción.

El casco estereoscópico fue el primer instrumento desarrollado para llegar a conseguir

esta meta. Este casco está formado por dos monitores que cierran todo nuestro ángulo de visión para mostrarnos, exclusivamente, las imágenes que provienen del ordenador. Además, está provisto de dos altavoces que nos proporcionan los datos sonoros que, en tiempo real, se van generando a medida que transcurre nuestra acción dentro de dichos espacios. De este modo, los dos principales sentidos - la vista y el oído- que reciben información, se ven afectados para crear sensación de inmersión. La principal característica de la realidad virtual es que las imágenes y sonidos con los que debemos interactuar deben ser generados en tiempo real, es decir, a medida que movemos la cabeza para recibir datos, las imágenes son creadas. Esta cualidad es el principal parámetro de realidad del que gozan estos sistemas y, junto a la visión estereoscópica, se produce la sensación de movimiento físico dentro del mundo virtual, dando lugar a estímulos que nuestro cerebro interpreta como inmersión.

Además, ese mundo puede ser tocado gracias a la aportación de lo que se dado en llamar como guante de datos, para las manos, o traje de datos, para todo el cuerpo. Los guantes de datos se adaptan a nuestras manos y nos proporcionan impresiones sobre aquello que estamos agarrando, o sobre lo que nos está tocando o si hemos chocado contra algún obstáculo en el camino. Esta correlación muscular entre los músculos del cuerpo y las modificaciones aparentes del espacio artificial, afecta a dos sentidos: el tacto y el sentido propioceptivo, que es el que nos hace sentirnos dentro de un espacio puesto que aporta los datos sobre sobre la resistencia del espacio en el que nos movemos. El cerebro sabe que estamos en el agua o que nos encontramos en un entorno ventoso, gracias a que este sentido proporciona información al cerebro de las circunstancias en las que nuestro cuerpo se resiste al medio.

La forma de simular esta interacción entre el cuerpo y su entorno, se consigue mediante sensores dispuestos en la cabeza y miembros. De este modo, el ordenador conoce, en todo momento, la actitud del observador, la dirección de su mirada o sus gestos. Esta es la manera de hibridación entre el cuerpo real y el virtual ya que, estos mismos sensores, son los que dan los datos al cuerpo real de las interacciones que ha sufrido su cuerpo virtual.

Quéau (1995, 16) afirma que *todo acto del cuerpo se traduce en una modificación correlativa del espacio tridimensional que lo rodea por todos lados gracias al casco estereoscópico integral. E, inversamente, toda imagen tridimensional que flota virtualmente "alrededor" del observador puede servir de base y pretexto a nuevos actos gestuales.*

Como en toda nueva metodología científico y/o artística existen dos tendencias, bien diferenciadas, en el modo de concebir la realidad virtual.

La primera intenta tomar como base creadora los principios de la psicología clásica y, así, crean espacios en los que el realismo se consigue a partir de influir en el individuo

mediante la aplicación de teorías psicológicas. En estos mundos, todos los objetos que lo componen están involucrados hacia un fin en el que los estímulos tratan de afectar directamente al modo en el que el cerebro procesa la información. De esta forma, se verifican, también, los modelos psicológicos que se han implementado mediante algoritmos o bases de reglas, en las propias máquinas. El cognitivismo llega, incluso, a adoptar el ordenador como modelo del conocimiento.

La segunda tendencia se basa en los conocimientos existentes de nuestros sistemas sensoriales, a partir del estudio fisiológico de los órganos encargados de recibir dichos estímulos.

Pero, lo cierto es que lo que realmente falta por conocer, Toca (1997, 30), es *cómo se constituye nuestro mundo de experiencias, que es, de hecho, lo más cercano de nuestra existencia*.

En todo caso, la adaptación del hombre al entorno es innegable ya que aquel necesita ejecutar acciones y es el propio medio el que le proporciona la justificación coherente, mediante criterios de selección, de esas acciones. Desde este punto de vista, el hombre no tarda en adaptarse al entorno virtual, que pasa a ser el medio de juicio valorativo en el desarrollo de los actos humanos.

Alicia estaba ya tan acostumbrada a que todo cuanto le sucediera fuera algo extraordinario, que le parecía francamente una sosada y una estupidez que la vida discurriese normalmente, como si nada. Carroll, Lewis (1996, 40).

Alicia se había adaptado a ese País de las Maravillas en el que habían transcurrido sus últimos días. Ella no era consciente, pero el hecho es que se había acostumbrado - ¿o deberíamos decir, adaptado? - a su nueva situación. Alicia empezó a ser consciente de ella misma al observar que era extraña entre la normalidad de un mundo por sí raro. Alicia había entrado de lleno en un nuevo mundo de sensaciones donde todo estaba por descubrir.

En ese mundo todo era desproporcionado, al igual que ocurre en la realidad virtual en el que, según Pisticelli (1995, 106), *las proporciones no son el orden en sí sino un orden entre otros*. El hombre occidental ha buscado siempre la medida de las cosas para adaptarlas a su ser y, de este modo, ponerlas a su alcance. Con la realidad virtual, el occidental deja de tener esta cualidad para abrirse a un mundo de redes interactivas comunales en las que el yo deja de tener un único dueño para ser objeto de intercambio por parte de cualquiera. Yo estoy aquí, pero mi imagen y voz pueden estar en cualquier parte. Mis actos, antes creados en el interior de mi

mente, pasan a ser de dominio público al aparecer en una pantalla.

La aldea global que se está creando, conlleva una pérdida de individualidad a favor del colectivo. El cuerpo se desnaturaliza para dar paso a la transmisión de datos sin importancia del contenido. La vía de conocimiento no se centra en culturas concretas, sino en el conjunto general de las mismas. Las comunidades emergentes deben buscar nuevas reglas comunicativas para entablar nuevas formas de relación usando como medio las redes de telecomunicaciones y como actores, imágenes sin corporeidad que no pasan de ser más que reflejos de los cibernautas.

- "Y ¿cómo sabes tú si yo estoy loca?", le preguntó Alicia.

- "Has de estarlo a la fuerza", le contestó el Gato; "de lo contrario no habrías venido aquí". Carroll, Lewis (1996, 109).

Alicia era diferente y, por ese motivo, los nuevos vecinos con los que se había encontrado, no sabían que podía hacer ella en su mundo. No obstante, Alicia, poco a poco, iba adquiriendo los nuevos modos que regulaban la vida social del País de las Maravillas.

La televisión empezó a modificar el concepto de vecindad como hecho social de comunicación, ya que era posible ver lo que ocurría a muchos kilómetros de distancia sin necesidad de moverse del sillón. Gracias a los nuevos medios de comunicación, incluido el ordenador y sus aplicaciones en la realidad virtual, el concepto geográfico de proximidad no es necesario para entablar un acto comunicativo. Las imágenes viajan por la red y, con ellas, establecemos vínculos afectivos con otras imágenes que representan a individuos. No hay ninguna necesidad de vínculos carnales que derivan de la proximidad entre actores sino que el hecho comunicativo se basa en la frialdad de imágenes con un alto grado de abstracción.

En este universo sin fronteras basado en redes electrónicas que transportan imágenes, surge un nuevo tipo de asociación que induce nuevas reglas de comportamiento social. Nuevas jerarquías y nuevos modos son necesarios puesto que, tanto el medio como los actores, han cambiado. De este modo, surgen las llamadas *comunidades virtuales*, es decir, asociaciones de individuos que tienen un fin común y cuya principal característica es la ausencia de tangibilidad tanto en el medio como en los actores que componen la comunidad.

La principal función de las máquinas informáticas es ayudar a ejecutar todos aquellos cálculos, difíciles de realizar por el hombre. Para ello, la máquina busca en las bases de datos la mejor manera de realizar estas funciones, mientras que los humanos nos dedicamos a la estrategia y planificación de la información para que se consiga el mejor de los resultados. Si

empezamos a definir un interfaz para que esta interacción hombre-máquina pueda llegar a resultar de una mayor calidad, entraremos en la antesala de la realidad virtual.

La realidad virtual no es más que un modo de comunicación del individuo con las máquinas sin necesidad de conocer los dificultosos lenguajes de programación, necesarios para la utilización de los sistemas informáticos. La interacción con imágenes evita este imperativo de recurrir a este tipo de lenguajes, puesto que la construcción de esos espacios virtuales de interacción están realizados en función de las requerimientos de cálculo para un mayor rendimiento con la máquina.

Esta gran revolución en el campo de tratamiento de datos empezó con la utilización de iconos para navegar por nuestro ordenador personal. La posibilidad de ejecutar programas pulsando, a través del ratón, sobre un icono representativo de dicho programa, fue un gran paso adelante en la difusión del ordenador como herramienta de trabajo personalizado. Este tratamiento gráfico del ordenador consiguió que el ordenador se convirtiera en una necesidad generalizada para trabajar. No hacía falta conocer un lenguaje de programación para realizar distintas tareas, sino que el usuario tenía la posibilidad de realizar funciones con tan sólo un poco de intuición para saber pulsar el icono correspondiente de la tarea a ejecutar. Los entornos gráficos provocaron una difusión global del ordenador y, hoy en día, es raro el hogar que no cuenta con uno de ellos.

A la vez que se iban perfeccionando los distintos entornos gráficos, se necesitaba que el tratamiento de los textos fuera lo más interactivo posible. De este modo, se conseguía crear una herramienta de trabajo en el que texto e imagen asumieran un mismo papel para así conseguir una mayor rentabilidad en el uso del ordenador. Esta forma de tratar el texto se ha dado en llamar hipertexto.

"...y ¿de qué sirve un libro si no tiene dibujos o diálogos? se preguntaba Alicia". Carroll, Lewis (1996, 31).

A Alicia le hubiera encantado que las palabras de su libro le hubieran dado la posibilidad de entrar en otros mundos, en otras ideas. El hipertexto permite que, a través de palabras claves, podamos acceder a otras realidades. La palabra se convierte en un símbolo y un medio en el que el valor de la misma trasciende de su significado para tener una trascendencia que rebasa las fronteras de su origen: se convierte en medio o canal dentro el hecho comunicativo, además de aportar su valor semántico al significado del hecho comunicativo.

El ordenador conjuga dos lenguajes - el icónico y el textual -para abarcar todo el espectro interactivo que se necesitaba para hacer del ordenador, una máquina con posibilidades ilimitadas de comunicación.

Una vez conseguida esta transformación de la palabra en icono visual, se pudo llevar a cabo, gracias también al perfeccionamiento de las telecomunicaciones, la creación de grandes redes transnacionales como la WWW (World Wide Web) que apareció en 1994. Esta gran red ha posibilitado la creación de la mayor plataforma de comunicación existente en la actualidad: Internet.

Internet ha supuesto que la comunicación internacional se convierta en un hecho individual y deje de estar mediatizada por las grandes empresas mediáticas. El individuo pasa a estar en contacto con el mundo entero y el único instrumento que intermedia en este acto comunicativo es el ordenador personal. La comunicación de masas, producida a través de estas redes, pasa a ser controlado por el individuo puesto que es él mismo el que elige la vía por la que navegar.

El único problema con el que se encuentra el navegante es el desconocimiento de un determinado idioma. Internet, como toda la comunicación actual, proviene de Estados Unidos. El desconocimiento del inglés supone un obstáculo para la total integración del individuo al universo comunicativo. La red, no obstante, es capaz de transportar imágenes, por lo que es fácil crear espacios icónicos de interacción donde el lenguaje icónico se convierta en medio unificador entre individuos de diversas lenguas.

La imagen es el lenguaje más universal que existe, puesto que la tradición icónica es mucho más unificadora que la lingüística ya que la imagen tiene la cualidad de representar, es decir, volver a presentar aquello de lo que se está comunicando. La palabra vaso es diferente según los idiomas, pero la imagen de "vaso" es única en todos los países. La imagen pasa a ser un perfecto operador gramatical.

Jaron Lanier -gurú de la realidad virtual e inventor del guante de datos- denomina *comunicación postsimbólica* a esta nueva forma de comunicarse. En la realidad virtual puedes revivir experiencias pasadas para que otro cibernauta, que no la haya vivido, tenga la posibilidad de hacerlo contigo. De este modo, el cibernauta es capaz de compartir sentimientos y sensaciones vividos por él mismo con el resto de los cibernautas. Esta posibilidad hace que el ser humano pueda aspirar a la creación de experiencias sin limitaciones formales. La poesía ha descrito, desde sus orígenes, sentimientos hacia paisajes, sueños, etc, pero era el poeta el que los vivía y los lectores los imaginaban. La realidad virtual aplicada a la comunicación puede hacer que esos mismos paisajes o sueños puedan ser compartidos, de una forma directa y

tangible, por usuarios al mismo nivel que lo ha hecho el poeta que los ha descrito. Este nuevo tipo de comunicación abre nuevas posibilidades para la creación de lugares o puntos de encuentro para compartir experiencias de todo tipo.

Surgen, de esta forma, las primeras comunidades virtuales en donde la comunicación se realiza en universos ficticios de textos e imágenes. Como toda nueva comunidad necesita de reglas con la que ser dirigida, aunque éstas no están todavía muy claramente delimitadas debido a su escaso tiempo de existencia. Tan sólo se necesita conocer un protocolo para acceder a las mismas, pero una vez dentro son los propios integrantes de la comunidad los que dictan sus reglas internas. La comunicación en ellas se produce a través de la interacción con textos e imágenes, por lo que es fácil el acceso de cualquier cibernauta - que así se llama a los comunicadores de la red - a ellas.

"... y además, nadie hace demasiado caso a las reglas del juego; parece como si no tuviera ninguna, o, en todo caso, si las hay nadie parece que las esté siguiendo...". Carroll, Lewis (1996, 137).

El caso es que en esos espacios virtuales de comunicación se pueden llevar a cabo fenómenos tan curiosos como el que un emisor y un receptor sean la misma persona. Se produce, de esta forma, una comunicación intrapersonal que pasa de ser una mera reflexión a todo un acto comunicativo en el que existe un intercambio real de mensajes. El ciberciudadano puede tener varios yos dentro de esa comunidad e interaccionar entre ellos de un modo normalizado. Además, puede enviarse mensajes a sí mismo o realizar actos que vayan en contra de alguno de sus otros yos, sin que ningún otro miembro de la comunidad piense que todas estas acciones están siendo realizadas por una misma persona. La comunicación adquiere una libertad absoluta al dejar de estar atada al individuo físico, al delegar los atributos de los actores de la comunicación en delegados virtuales.

"...a esta niña tan original le gustaba mucho comportarse como si fueran dos personas a la vez". Carroll, Lewis (1996, 39).

Alicia quería jugar a este tipo de juegos basados en desdoblamiento de personalidad, pues le atraía la idea de ver la vida desde varios puntos de vista. La red hace posible este juego dotando, además, de un anonimato al cibernauta propio de todos aquellos sistemas en los que no hace falta la interacción física.

Esta posibilidad, no obstante, fomentará nuevos tipos de delincuencia - al igual que ocurre en cualquier comunidad - como pueden ser el ataque con virus informáticos, el vandalismo en la red, la inclusión en comunidades cerradas para, por ejemplo, piratear secretos económicos o científicos, etc. Se hace necesario, por tanto, una estandarización de comportamientos éticos que se hagan eficientes para cualquier tipo de comunidad. La legislación sobre este tema debe superar los propios ámbitos de la red, por ser algo que supera los intereses particulares.

En nuestros días, los gobiernos no han sido capaces de regular totalmente las nociones éticas que deben establecerse en la red. Salvo una legislación de la transmisión de fotografías pornográficas realizadas a menores, el hecho es que ningún otro delito está completamente legislado y, por tanto, penado. La libertad de creación y uso de la red existente en nuestros días, puede favorecer la falta de comportamiento ético en algunos cibernautas que pueden usarla en beneficio propio sin ningún tipo de interés hacia el bien común.

La principal arma con la que se encuentran los delincuentes virtuales es el anonimato y, esta característica, es también la que puede causar un desconcierto entre los propios actores puesto que, se puede dar el caso, de que en ningún momento se sepa con quién se está comunicando al no tener referentes claros sobre los otros miembros de la comunidad, puesto que sólo existen virtualmente.

Pero si no soy la misma, la pregunta siguiente es ¿quién soy yo? ¡Ah! ¡Eso sí que es un misterio!. Carroll, Lewis (1996, 46).

Lo verdaderamente importante de las comunidades virtuales es que, a pesar de los problemas, tanto tecnológicos como legales, se ha incrementado la capacidad de comunicación humana, lo que no implica una mayor riqueza en el intelecto o un mayor desarrollo del pensamiento.

La red transporta información, no conocimientos. Los espacios virtuales de comunicación no son todavía capaces de interaccionar con conceptos abstractos que no puedan ser representados icónicamente. Se puede experimentar una puesta de sol o abordar un experimento sobre reacciones moleculares - cuyas moléculas son representadas en el espacio- por científicos ubicados en distintos puntos del planeta, pero no es posible mantener un intercambio de conocimientos sobre la fe o el alma humana, pues ambos conceptos no tienen una simbología visual definida.

Los expertos informáticos han buscado siempre automatizar nuestras tareas más

cotidianas. El motivo de buscar que estas tareas fueran las más cotidianas, tuvo su origen en las necesidades económicas. Es más fácil sacar rápidos beneficios de una máquina que controle las tareas domésticas que de una que se encargue buscar respuestas a determinadas cuestiones filosóficas.

No obstante, esta cotidianidad ha originado nuevos problemas a las ciencias que se encargan de estudiar como el hombre se relaciona con su entorno. Hasta que no se hizo necesario intentar simular, para crear espacios virtuales, como el hombre se mueve dentro de una habitación en la que hay una serie de obstáculos, nadie había intentado razonar como el cerebro se ocupaba de esta importante cuestión. Ahora se admite que operaciones que estamos realizando continuamente, necesitan de una elaborada interpretación de datos. La informática aplicada al comportamiento humano, es decir, la inteligencia artificial, ha abierto nuevas vías de investigación para conocer mejor el comportamiento del ser humano.

La inteligencia artificial ha hecho una importante contribución filosófica, Toca (1997, 217): *cualquier saber qué, conocimiento "de algo" (de la realidad), reposa sobre estructuras cognitivas previas.*

El ordenador no es un ente de creación por sí misma, sino que tan sólo es capaz de procesar información de forma inteligente si, previamente, se le han introducido métodos de razonamiento. Todo aquello que necesita de un razonamiento que no está preconfigurado, la máquina no lo entiende o nos aporta una serie de datos que, en cualquier caso, el ser humano tendrá que volver a razonar como válidos.

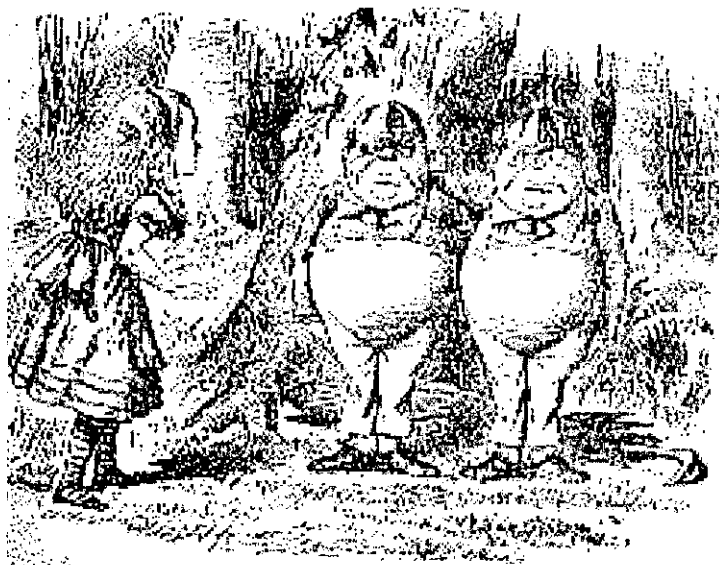
En esta línea, la ciencia está empleando sistemas de comunicación con la máquina, la realidad virtual, por ejemplo, como una nueva forma de comunicación hombre-máquina o para validar los modelos psicológicos del ser humano.

- Ya sé lo que estás pensando –dijo Tararí-; pero no es como tú crees. ¡De ninguna manera!

- ¡Por el contrario! -continuó Tarará-. Si hubiese sido así, entonces lo sería; y siéndolo, quizá lo fuera; pero como no fue así tampoco lo es así. ¡Es lógico!. Carroll, Lewis (1995, 80).

Tararí y Tarará tenían razón. Nada es lo que parece porque si todo estuviera claro no habría nada más que descubrir o investigar. La realidad virtual es una herramienta de comunicación que el hombre utiliza para una mayor interacción con la máquina. Las aplicaciones y demás suposiciones que se puedan hacer sobre este hecho, están por ver. No

obstante, una cosa sí que es cierta: la realidad virtual está cambiando nuestra visión del mundo.



Actualmente, la sociedad demanda un flujo de información continua para poderse mantener. La manejabilidad con los datos debe ser lo más rápido y seguro posible. Además, las barreras lingüísticas tienen que dejar de ser una barrera para una mayor expansión de los mercados económicos. La realidad virtual surge, entonces, ¿como la mejor herramienta de comunicación con la que, actualmente, cuenta el ser humano para interactuar con el ordenador que, en pocos años, se ha convertido en el instrumento principal de conexión entre todos los individuos de este planeta?

La inteligencia, que es lo que realmente nos separa del resto de seres vivos, ve mejorada su capacidad cuando somos capaces de sistematizar, reelaborar y acceder mejor a la información. La combinación de una inteligencia humana con una computadora supera cualquier tipo de obstáculo. La informática, desde este punto de vista, se convierte en una poderosa tecnología intelectual ya que abre nuestro universo cognitivo.

La realidad virtual es un interfaz que facilita el acceso a la computadora sin necesidad de inmovilizar físicamente al usuario, por el que es la más moderna forma de abolir barreras, tanto físicas como lingüísticas. Su expansión, por tanto, debería producirse de un modo rápido. El único problema con el que se encuentra es la limitación tecnológica ya que, hasta ahora,

sólo los grandes ordenadores son capaces de generar imágenes en tiempo real con una calidad suficiente para producir la sensación de inmersión espacial. Además, las redes de telecomunicaciones comunes no tienen el suficiente ancho de banda como para soportar los datos requeridos para una interacción en espacios virtuales compartidos. Tan sólo los grandes organismos de investigación - como la NASA - cuentan con redes específicas para esta labor. La tecnología, a pesar de todo, tiene sus propias limitaciones que debe superar para satisfacer las aspiraciones de comunicación que la sociedad tiene en nuestros días.

Este nuevo medio de comunicación, en que se está convirtiendo la realidad virtual, tiene defensores y detractores como cualquier otro medio emergente. Las casualidades en las críticas suelen, por otra parte, coincidir: para unos supone una máquina revolucionaria que cambiará, radicalmente, la relación del hombre con otros hombres y la reacción del hombre con las máquinas; mientras que, para otros, supone un paso hacia delante en la alienación del hombre con respecto a la máquina en esta carrera desenfrenada hacia la implantación de la ilusión y superficialidad en nuestra sociedad.

Ambos pensamientos pueden tener algo de razón. La utilización de mundos virtuales supone, como ya hemos mencionado, un paso adelante en la globalización de la comunicación, pero hace depender al hombre de las máquinas para que este hecho se produzca. La sociedad actual no es una sociedad diversificada culturalmente, sino que se acerca más a los conceptos globales propulsados, eso sí, por las necesidades económicas de mercado. El ordenador, unido a las grandes redes de telecomunicaciones, se convierte en el mejor instrumento para llevar a cabo esta tarea iniciada por los grandes medios de comunicación de masas como, por ejemplo, la televisión.

La principal característica de la realidad virtual, esto es, su capacidad para sumergirnos en la imagen, abole la última gran barrera que el ser humano ha encontrado para unificar el modelo cultural del planeta: el idioma.

Lo virtual está destinado a convertirse en un nuevo espacio simbólico, donde la interacción es posible con formas abstractas que, de otro modo, no podría darse y donde esa abstracción se convierte en acción al convertirse en datos tangibles con los que se puede experimentar.

La realidad virtual se convierte, en esta forma, el punto de encuentro entre los conceptos platónicos sobre las ideas con la visión materialista aristotélica.

Por otro lado, la cadena evolutiva ha llevado al ser humano a prevalecer sobre las otras especies gracias a un mayor desarrollo de su capacidad cerebral, la cual ha implementado una mejor memoria oral -gracias a su capacidad para hablar mediante lenguajes- y, esto ha derivado

en una mayor comprensión para las matemáticas y la lógica, que ha llevado al ser humano a un perfeccionamiento de las ciencias y, por supuesto, de las distintas tecnologías para adaptarse más al medio.

Sin embargo, el ser humano sigue formando parte de su entorno siendo un eslabón más del mismo, acarreado en su subconsciente lo arcaico con lo civilizado, según las teorías freudianas. La tecnología ha tratado siempre de hacer que el hombre supere al medio y, la realidad virtual, es el último gran eslabón de esta cadena de desnaturalización del hombre.

Pisticelli (1995, 44) afirma que la revolución teórica de la cibernética consiste en que *los mismos principios que ayudan a explicar las funciones del cerro humano también explica - o al menos buscan hacerlo - las funciones de una máquina pensante.*

Los espacios virtuales tratan, incluso, de experimentar la propia evolución creando sistemas ficticios de interacción donde, atendiendo a las leyes de evolución, los individuos sobreviven en ese entorno. De esta forma, se simula, en tiempos previamente establecidos, aquello que la naturaleza tardó muchos miles de millones de años en crear. El ser humano evolucionó a través de cambios físicos pero, también, mentales y emocionales, y al crear estos instrumentos se está modificando a sí mismo continuamente, provocándole contradicciones en su relación con la máquina, ya que, al entrar en armonía con ella, inicia una relación de dependencia con la misma al sentirla como una prolongación fundamental de su propio cuerpo aunque, al mismo tiempo, esta dependencia provoca desconfianza. El hombre se modifica a sí mismo y, por tanto, a su cultura y esto le lleva al desarraigo.

Si profundizamos un poco más hay que afirmar que los mundos virtuales podrán determinar, en un futuro, la previsión del futuro de nuestra especie en relación con su entorno. La realidad virtual llegará a su punto álgido cuando sea capaz de simular hasta la propia vida, lo que llevará a condicionar las acciones del ser humano, puesto que, no hay que olvidar nunca, que el ser humano depende del entorno natural en el que vive y, que tal como afirma Pisticelli (1995, 40), *con el efecto mariposa, cualquier cambio ínfimo en un proceso puede tener consecuencias catastróficas, para bien o para mal.*

La sociedad emergente será una sociedad de la simulación, donde lo natural ha desaparecido. Lo único que quedará será una realidad centrada en el ser humano, modelizado según unos criterios y propósitos marcados por el hombre. El entorno que rodea al hombre se crea y lo natural pasa a convertirse en una paradoja de todo aquello ya simulado. El individuo puede llegar a sentirse perdido en este mundo complejo de datos numéricos, pero, una vez adaptado, puede poseer un grado de libertad mayor al no depender de su cuerpo físico o limitarse por su propio lenguaje. Myron Krueger, artista virtual e inventor del término *realidad*

artificial para designar a los mundos virtuales, desarrolló el primer sistema de realidad virtual accesible a toda clase de público. Este experimento, denominado Videoplase, se realizó en Connecticut (Estados Unidos).

Alicia no dijo nada: se sentó y se cubrió la cara con las manos, preguntándose si algo acabaría sucediendo alguna vez de una manera natural. Carroll, Lewis (1996, 165).

El espectador, al igual que Alicia, tiene una primera sensación de desconcierto en estos mundos interactivos porque no sabe que es lo siguiente que le va a suceder o que ocurrirá cuando acometa otra acción. La falta de referencias perceptuales es la clave para entender esto, aunque los artistas juegan con este desconcierto para crear nuevas sensaciones.

El arte virtual es un arte del espacio y del tiempo. El espacio es creado por el artista y la máquina y el tiempo generado por la máquina. Es un espacio ilimitado y, a la vez, inexistente.

El espacio de Internet, como ejemplo actual de arte virtual, es un espacio que continuamente se está autoregenerando y autodestruyendo: en el momento que se conecta una persona nace y cuando se desconecta muere.

No hay distinciones de clase entre los integrantes de un mismo espacio virtual pero, al mismo tiempo, se pierde la individualidad. Es el arte global: el arte creado por individuos pero sin individuos, el arte libre pero sin consciencia de la libertad de cada uno.

Myron Krueger, al igual que Jaron Lanier, son los dos grandes gurús de la realidad virtual. Los dos tratan de crear espacios virtuales donde se une la posibilidad interactiva de la tecnología con los conceptos artísticos para, de esta forma, revolucionar el concepto y usos que la sociedad tenga de las máquinas.

El arte del nuevo milenio busca de la ciencia herramientas de creación y, esto, la supedita a la misma. El arte ha creado hábitos perceptivos - cuyo ejemplo más notable es el uso de la perspectiva en el Renacimiento -y la ciencia la ha teorizado. El arte, por tanto, ha sido siempre un hecho histórico, un modo de revolución social.

El arte se une a la ciencia mediante las tecnologías de la comunicación, siendo su máximo exponente el uso del ordenador como herramienta artística. Esta nueva fascinación del arte por la tecnología generó, en un principio, nuevas corrientes artísticas en las que el principal objetivo consistía en que el espectador no se diera cuenta de si la obra tenía un origen humano o artificial. Esta tendencia ha dado paso a una nueva concepción artística, en la que se pretende integrar, mediante la tecnología, al espectador en la obra de arte para que éste haga un uso particular y libre de la misma. El artista, por tanto, se limita a proponer, siendo el espectador el

que completa la obra.

El ordenador ha supuesto, por tanto, una completa democratización del arte, idea iniciada por Dadá a principios del siglo XX, y esta llevando a que la noción de arte desaparezca para dar paso a lo que se podría calificar como la integración del espectador en espacios virtuales de comunicación compartida. El Videoplaza de Krueger, o el espejo virtual de Monika Fleischmann, en el que el reflejo de tu propio rostro te es devuelto, son algunos ejemplos de esta propuesta de arte que, algunos han dado en llamar, reactivo, es decir, que reacciona ante el espectador.

- Eso es lo que siempre pasa cuando se vive marcha atrás - le explicó la Reina amablemente -: al principio se marea siempre un poco....

- ¡Viviendo marcha atrás! - repitió Alicia con gran asombro -. ¡Nunca he oído una cosa semejante!

-...Pero tiene una gran ventaja y es que así la memoria funciona en ambos sentidos.

- Estoy segura de que la mía no funciona más que en uno -observó Alicia-. No puedo acordarme de nada que no haya sucedido antes.

- Mala memoria, la que sólo funciona hacia atrás - censuró la Reina. Carroll, Lewis (1995, 97).

El siglo XX ha creado una división económica de la sociedad mundial en la que los países del Norte manejan la información y los nuevos materiales, mientras que los países del Sur se encargan de realizar aquellas tareas que los otros no quieren para sí mismos.

La tecnología, con su pretendida búsqueda de universalidad, ha vuelto a separar ambos hemisferios, puesto que ha marcado la tendencia generalizada de consumo. Los países del Norte vuelven a marginar a los del Sur, en tanto en cuanto, hacerles dependiente de infraestructuras que posibiliten un mayor acercamiento a las necesidades tecnológicas que han predispuesto estos países con un mayor desarrollo tecnológico. No podemos pretender hablar de universalidad gracias a las redes, cuando la mayoría de estos países "en vía de desarrollo" no cuentan, ni tan siquiera, con la infraestructura suficiente para satisfacer sus necesidades de comunicación internas.

La Reina del País de las Maravillas describe su memoria como algo que, mirando hacia atrás, ha venido del futuro. Haciendo caso a esta premisa, deberíamos tener en cuenta situaciones pasadas para evitar un futuro que ya conocemos puesto que, si la historia es cíclica, ya se ha repetido. La alfabetización de las masas, producto de la invención de la escritura y la

tecnología, hizo evolucionar los modelos culturales. La tecnología se ha hecho dueña de estos modelos y los ha canalizado a través de las grandes redes de comunicación. De este modo, ha cambiado la concepción del mundo por el ser humano. Antes, el hombre interpretaba las señales; ahora, ese mismo obre, se dedica a operar con ellas. Los países pobres necesitan de una primera alfabetización en el lenguaje icónico, sostenido en una infraestructura global de tecnología comunicacional, para poder operar, en un futuro, con esas señales que la sociedad rica ya domina.

Todo esto pasa por una estabilidad política y económica en los países pobres para que se produzca una mayor calidad en la mano de obra y se creen las condiciones necesarias para la inversión en tecnología de terceros países que quieran abrir sus mercados hacia los países pobres. De este modo, se abrirá el mercado tecnológico que y dejará de pertenecer las clases elitistas de esos países. La comunicación romperá la última de sus fronteras económicas, para dar paso a un mercado libre de interacciones comunicativas donde la globalidad se habrá conseguido.

La Unión Europea ha sido posible gracias a los procesos de innovación tecnológica que han modificado, sustancialmente, las estructuras industriales y las relaciones sociales del capital con el trabajo. Todo esto a conducido a un menor intervencionismo de Estado en la economía, con lo que los grandes inversores han encontrado menores limitaciones en sus relaciones con otros países de la Comunidad Europea. De este modo, las sociedades han adquirido hábitos comunes de consumo y, en consecuencia, han unificado modelos culturales.

La realidad virtual se conforma con el mejor espacio de intercambio de productos e ideas puesto que, sin estar en ningún sitio todos podemos acceder, para que, en esta forma, las necesidades globales puedan ser satisfechas en espacios únicos.

La realidad virtual podría ser, por tanto, un ensanchamiento de las fronteras de la realidad mediante la vivencia de experiencias comunes compartidas por grandes cantidades de personas. Los medios de comunicación tradicionales transformaron los discursos en homogéneos sin atender a las diversidades culturales e idiosincráticas de los distintos pueblos. Los medios interactivos están haciendo posible que la diversidad cultura tenga su hueco en la red y en los mensajes emitidos por la misma. La realidad virtual permite vivir experiencias culturales diversas, aunque la unificación de la tecnología a emplear es necesaria y fundamental para que se produzca este intercambio comunicativo.

Para Alejandro Pisticelli (1995, 81) la realidad virtual es *una realidad alternativa*, mientras que para Philippe Quéau (1995, 15) es *una base de datos gráficos interactivos, explorable y visualizable en tiempo real en forma de imágenes tridimensionales de síntesis*

capaces de provocar una sensación de inmersión en la imagen.

Por otra parte, Steve Aukstakalnis y David Blatner (1992, 7) nos proponen en su libro "El espejismo de silicio" una visión de realidad virtual más unida a la tecnología. Ellos la definirían como *una forma humana de visualizar, manipular e interactuar con ordenadores y con datos complejos*. Otra definición de realidad virtual, según se puede leer en la página de Internet de la empresa Silicon Graphics, consiste en *todo aquel interface de comunicación con el ordenador que simula las cualidades naturales del ser humano para la comunicación*.

La realidad virtual es un entorno tridimensional, en el que gracias a la generación en tiempo real de todas aquellas informaciones que necesitan los sentidos para relacionarse con su entorno, se crea una sensación de realidad al crear la sensación de inmersión en una imagen con la que se puede interactuar según los distintos datos que en ella se encuentren.

La realidad virtual debe ser aprendida por nuestros sentidos y, de este modo, llegaremos a conceptualizarla y a comprenderla mejor. El nivel de adaptación de nuestra especie es muy superior al de otros gracias, en su totalidad, a un mayor desarrollo cerebral. Los sentidos, como sensores de nuestro cuerpo para recibir información y dársela al cerebro para su posterior procesamiento, son los que marcan el nivel de compatibilidad con el entorno en el que estamos inmersos. *Mientras adiestremos y empleemos bien nuestros sentidos y ajustemos nuestro modo de proceder a los límites que trazan las observaciones bien hechas y bien utilizadas, veremos que los resultados de nuestros actos suministran la prueba de la conformidad de nuestras percepciones con la naturaleza objetiva de las cosas percibidas*, afirmaba Engels en su libro "Del socialismo utópico al socialismo científico".

El futuro es un hecho incierto pero, lo que si es seguro, es que la forma de relación entre los seres humanos está iniciando un camino irreversible hacia el individualismo, necesario para el avance de los medios tecnológicos.



Por último, pensó en como sería en el futuro esta pequeña hermana suya, cuando se convirtiera ya en una mujer, y en cómo se conservaría a lo largo de sus años maduros el corazón sencillo y amante de su niñez (...) sentiría todas sus pequeñas tristezas y se alegraría con sus pequeños goces, recordando su propia infancia y los alegres días del estío de antaño. Carroll, Lewis (1996, 193).

Capítulo 3.

CONTEXTO HISTÓRICO DE LA REALIDAD VIRTUAL

El mundo de la informática se desarrolla a una velocidad tan elevada que son muy pocos los que, realmente, están al tanto de todos los adelantos conseguidos. Pero el primer antecedente de realidad virtual del que tenemos constancia no proviene de la informática, sino del cine.

La irrupción de la televisión como el gran medio de comunicación de masas - en detrimento de la industria cinematográfica- provocó que los grandes estudios se plantearan nuevas formas de atraer al público, con espectáculos cinematográficos de gran magnitud. La línea de investigación que se inició se dio en nombrar como "experiencia directa", y consistía en hacer creer al espectador que se encontraba dentro de la película, empleando cualquiera de las técnicas que llevaran a cabo este fin. El inicio fue marcado por las películas estereoscópicas de principios de los años cincuenta, en las que la percepción de la profundidad se creaba presentando dos imágenes, una para cada ojo, ligeramente distintas una de otra. Esta técnica fotográfica, ya empleada por Lumière y la Metro-Goldwyn-Mayer en 1935, se usó en 1952 para rodar *Bwana, el diablo de la selva* de Arch Oboler, y que obligaba, en la proyección, a que el espectador utilizara gafas de vidrio polarizadas que integraban las dos imágenes y proporcionaban una visión tridimensional. Precisamente, la obligatoriedad de emplear estas gafas, junto al elevado costo de las mismas producto del monopolio de la *Polaroid Co.*, provocó que la moda de las películas estereoscópicas concluyera pasados dos años desde la primera proyección.

En esos mismos años, el *Cinerama* competía con el cine en estéreo. El 30 de septiembre de 1952 se presentaba *Esto es Cinerama* en el Broadway Theatre de Nueva York, auspiciada por el productor Mike Todd. Mediante un sistema de tres proyectores distintos, que utilizaba tres películas contiguas y sincrónicas con fotogramas de 25'02*27'64 mm, se

presentaba al espectador un amplio espectro de representaciones visuales que cubrían un ángulo de visión de 146 grados en horizontal y 55 grados en vertical, mientras que la visión humana abarca 185 grados en horizontal y 155 grados en vertical. El mayor tamaño de la imagen necesitaba de una gigantesca pantalla cóncava, de proporción 1/2'06, para agrandar el campo visual del espectador. Fred Waller fue el creador de este grandioso sistema y Hazard Reeves fue quién le incorporó el sonido estereofónico. El Cinerama ya había sido utilizado durante la II Guerra Mundial para entrenar a los pilotos norteamericanos -clara similitud con el origen de la realidad virtual-, pero la primera película de ficción dramática producida para el sistema no fue rodada hasta 1962, siendo *La conquista del oeste* quien se llevó este honor. Este sistema de triple película desapareció al año siguiente debido a su elevado coste, tanto en la realización de los filmes como en la adaptación de las salas cinematográficas, siendo *El mundo está loco, loco, loco* de Stanley Kramer la primera película rodada con este formato de pantalla, pero con una única película de 70mm. de anchura, reduciendo el ángulo de visión a 120 grados. Este formato, no obstante, había cautivado a las masas, por lo que la 20th Century Fox sacó del baúl de los recuerdos el objetivo anamórfico *hypergonar*, ideado en 1925 por Henri Chrétien, que permitía la compresión óptica de las imágenes durante el rodaje. De este modo, nació el *Cinemascope* que descomponía las imágenes en la proyección sobre una pantalla panorámica cóncava de proporción 1/2'55 en vez del 1/1'33 del formato clásico. La película inaugural de este procedimiento fue *La túnica sagrada* (1953), de Henry Foster, con un éxito espectacular.

La consecuencia siguiente fue la aparición de otros formatos que intentaban sumergir, de distintos modos, al espectador en la pantalla. La Paramount desarrolló el *Vistavisión* que utilizaba una imagen negativa de tamaño 24*36mm, doble de lo normal, con lo que se obtenía una mayor definición de las imágenes. Mike Todd volvió a apostar por un sistema nuevo, llamado *Aromarama* u *Odorama*, que era un cine oloroso. Walt Disney creó el *Circarama*, que consistía en una pantalla circular de 360 grados. Todos estos formatos desaparecieron rápidamente aunque, en nuestros días, está volviendo a aparecer esta vieja idea del "cine total" con artilugios tecnológicos como el *Omnimax*, en el que el espectador contempla la película bajo una cúpula que le rodea su campo visual por completo.

El *Cinemascope*, no obstante, se acabó consolidando entre el público, como los procedimientos técnicos para rodar en 70mm., cuya forma original, el Todd-AO, fue ideado por Brian O'Brien y empleado, por vez primera, en *Oklahoma* (1955) dirigida por Fred Zinnemann.

Mientras ocurrían todos estos acontecimientos en el mundo del cine, aparece en 1962 lo que se conoció con el nombre de *Sensorama*. Era un aparato en el que se simulaba un viaje en moto por toda la ciudad de Nueva York. Sentados a los mandos de una máquina se iban

pasando imágenes en estéreo de la ciudad que se podían ver mediante un dispositivo óptico de visión binocular. Las imágenes están tomadas en plano subjetivo. Además, se podían oler los olores típicos de cada parte de la ciudad, mediante un dispositivo construido a partir de bolsas que expulsaban olores de modo sincronizado con las imágenes. El sonido era tridimensional y proporcionaba los sonidos típicos de cada parte de New York que iban mostrando las imágenes. Este invento fue desarrollado por *Morton Heilig* y lo describió como un entorno multisensorial y supuso uno de los primeros simuladores de entornos. Heilig reconoció haber obtenido la idea de su Sensorama, que previamente denominó "*teatro de la experiencia*", cuando vio la película *Esto es Cinerama* y comprendió perfectamente la idea de intentar sumergir al espectador en las imágenes que estaban viendo. En 1963, Heilig construyó un prototipo de sensorama portátil -predecesor del casco estereoscópico usado, actualmente, en realidad virtual- al que llamó "*máscara telesférica*", en el que no había un proyector de televisión estereográfica que animara la máscara con imágenes, pero que si esbozaba la idea de dispositivo de cabeza, instrumento tecnológico desarrollado cinco años más tarde por *Ivan Sutherland* en el MIT como un dispositivo de grafismo computerizado que se monta sobre la cabeza.

La idea de Heilig, a pesar de ubicarse en una época de necesidad de nuevos inventos en el campo del entretenimiento, no fue muy bien acogida entre los grandes inversores. El Sensorama se presentó al público en una sala de juegos de Broadway pero quedó rota a las pocas horas debido, sencillamente, a que era una máquina demasiado compleja para el tratamiento que recibía. A pesar de mejorar el nuevo prototipo de Sensorama, Heilig no recibió una segunda ayuda financiera por lo que el Sensorama, primer antecedente serio de lo que hoy en día es la realidad virtual, quedó aparcado en el jardín de su casa a finales de los años 60.

La visión de Heilig para construir un medio de experiencias artificiales multisensoriales está siendo posible en los años 90, pero no gracias al desarrollo del cine sino de la tecnología de la computación, puesto que la evolución de la misma pasa por integrar la mente humana con la computadora. Los pioneros de esta idea fueron rechazados, al igual que Heilig, por sus colegas y la industria, en general. Pero, pronto se hizo evidente, que se necesitaba de una interfaz que usara la percepción humana para facilitar la comunicación hombre-máquina.

El ejército de los Estados Unidos dio los fondos necesarios para el desarrollo de la primera computadora, siendo la Agencia de Proyectos de Investigación del Departamento de Defensa la que creó las tecnologías habilitantes, es decir, las tecnologías que hacen posibles otras tecnologías, para construir las primeras computadoras y, posteriormente, los ordenadores personales.

Las nociones de estereoscopia y el nacimiento de las computadoras digitales son los

dos pilares en los que se sustenta la tecnología de la realidad virtual.

El arte de la estereoscopia es bastante antiguo. Galeno (s. II D.C.) propuso la primera teoría de la perspectiva del ojo izquierdo y derecho y el principio del pensamiento detrás de una representación bidimensional plana de lo que vemos. Hasta el Renacimiento no se volvió sobre estas teorías, pero fue en esta época cuando fueron empleadas por los pintores para crear sensación de profundidad en sus cuadros. En 1833, el estereoscopio de Wheatstone fue el principal avance que condujo a una cadena de invenciones que desembocaron en los actuales cascos estereoscópicos. Este instrumento estaba formado por dos espejos colocados en un ángulo de 45 grados que hacen converger dos imágenes en los ojos derecho e izquierdo del espectador. En 1844, David Brewster agregó medias lentes para ayudar a que cada uno de los ojos viera las figuras diferentes en los estereopares. En 1949 se inventó la cámara estereoscópica que permitió sacar esterografías en 35mm. Anteriormente, no obstante, un hombre llamado Dalinrida, fue el primero en combinar filtros coloreados, para superponer imágenes en una pantalla. Esta técnica consistía en que la imagen del ojo izquierdo, por ejemplo, era proyectada a través de un filtro rojo, y como el ojo derecho del espectador tenía un filtro rojo montado sobre unas gafas, esta imagen, proyectada en rojo, era invisible para este ojo. En 1928, Edwind Land, de Polaroid, logró hacer invisible para cada ojo uno de los pares de imagen estéreo, proyectando pares de imágenes de diferentes polaridades de luz y, de este modo, creó las gafas Polaroid necesarias, como hemos visto, para la exhibición de películas en Cinerama.

Por otra parte, el nacimiento de la computadora digital surgió de la convergencia entre los fundamentos lógicos de las matemáticas, la necesidad práctica de técnicas de computación para manejar los circuitos de conmutación del teléfono, el cálculo de las ecuaciones balísticas de artillería y la capacidad de las válvulas de vacío electrónicas.

En 1950, a Douglas Engelbart, ingeniero electrónico, se le ocurrió la idea de que las máquinas podrían ocuparse del trabajo mecánico de pensar y, de este modo, colaborar en el desarrollo intelectual del ser humano. Esta idea ha revolucionado, como bien sabemos, el modo en el que el hombre entiende su entorno puesto que supuso el germen de lo que hoy se ha convertido en algo fundamental: tener información en la pantalla de un ordenador personal.

Otro personaje importante en la carrera hacia la computación digital, fue J. C. R. Licklider, psicoacústico que usaba modelos matemáticos para comprender las bases del oído humano, y que fue contratado primero por el ARPA (Advanced Research Projects Agency) y, posteriormente, por el SAGE (Semi-Automatic Ground Enviroment), organismo del Departamento de Defensa norteamericano, que quería construir un sistema de defensa terrestre

computerizado para proteger a los Estados Unidos contra un posible ataque nuclear. Hay que reseñar que el Departamento de Defensa norteamericano ha sido el padre de la tecnología computacional, puesto que desde el primer ordenador de los años 40, hasta las investigaciones de la Fuerza Aérea sobre los displays de cabeza en los años 80, han sido siempre los pioneros.

Eran los primeros años cincuenta y, paralelamente, en el MIT se estaba investigando el proyecto *Whirlwind*, en el que se combinaban cálculos de gran velocidad con controles de computadora que simulaban controles de avión y que, incluso, contaba con un dispositivo gráfico. Los operadores de SAGE y de *Whirlwind* fueron los primeros, por tanto, en ver información sobre las pantallas. Es en este punto, cuando los caminos de Licklider y Engelbart se cruzan, ya que el primero contrató al segundo para trabajar juntos en el ARPA.

Engelbart llamó a su laboratorio el ARC (Augmentation Research Center) y, durante la década de los sesenta, ya habían desarrollado un sistema de escritura computerizado y el, tan utilizado hoy en día, "ratón", así como el hipertexto gracias a Ted Nelson, el uso de imágenes de video junto con gráficos de computadora para llevar información y el uso de texto e información gráfica en el mismo documento.

Alan Kay, otro miembro de este laboratorio, trabajó en la idea de aplicar la psicología al diseño de la interfaz de la computadora. Junto a Seymour Papert, del MIT, diseñó un modo de operar con los ordenadores basada en la búsqueda e investigación, que es el principio fundamental de nuestra mente.

La guerra del Vietnam provocó que las investigaciones en el campo computacional del ARPA y el ARC, se dirigieran, únicamente, al terreno militar. Esto incomodó a los técnicos y programadores y, a principios de los 70, emigraron al PARC (Palo Alto Research Center) que había construido la Xerox Corporation. Muchos de los investigadores allí reunidos se conocían personalmente o a través de la red ARPANET que habían creado. Esta red fue mejorada en el PARC y pasó a denominarse ETHERNET, además de construir el primer ordenador personal llamado ALTO.

Paralelamente, apareció una nueva tecnología que, conocida con el nombre de *grafismo de mapas en bits*, consistía en que cada elemento gráfico en la pantalla está representado por un bit específico en la memoria del ordenador. Esto implicaba que se podía interaccionar con un bit específico para que ejecutara una acción. En el PARC se unificó esta tecnología con el ratón y dio paso a una de las revoluciones tecnológicas más importantes de la historia: la posibilidad de manipular información de un modo sencillo basado en gráficos interactivos. Años más tarde, Steve Jobs, de Apple Computers, recogería estos desarrollos y llevaría el ordenador a millones de personas.

Pero, siguiendo cronológicamente, la aparición del *Whirlwind* y la posibilidad de usar

la tecnología del tubo de rayos catódicos (CRT), junto al lápiz óptico, hizo pensar en la posibilidad de crear gráficos de interacción en tiempo real. Los periféricos de visualización se fueron desarrollando simultáneamente al de la generación de gráficos 3D.

Ivan Sutherland y *David Cohen* realizaron en 1968 el primer prototipo de visiocasco. Lo llamaron la "*Espada de Damocles*". David Cohen fue el primero en desarrollar un simulador de vuelo 3D que utilizaba gráficos vectoriales.



Sutherland había realizado una tesis doctoral, en 1963 y en el MIT, en la que creó un software, que llamó Sketchpad, y que habilitaba a las personas a usar los valores de bits para controlar la apariencia de los pixels, titulada "The Ultimate Display". El objetivo de su tesis era hacer que los mundos virtuales que construimos en la memoria de un ordenador, según se cita en Sutherland (1965, 506), "parecieran reales, actuaran como la realidad, sonaran como la realidad, se sintieran como la realidad". Sutherland quiso construir un dispositivo que culminara dicho objetivo y empezó construyendo sobre el TX-2, padre de los ordenadores actuales pues está basado en transistores en lugar de válvulas de vacío como elementos conmutadores, una serie de programas 2D interactivos que consistían en dibujar líneas y modificarlas a su gusto en tiempo real con tan sólo un lápiz óptico. El Sketchpad posibilitaba a un operador usar la computadora para crear modelos visuales complejos sobre una pantalla, es decir, se podían crear imágenes con tan sólo mover las manos, los ojos, etc. El campo del diseño asistido por ordenador, conocido ahora como CAD, surgió de esta tesis y se ha convertido en uno de los motores más importantes de desarrollo de la realidad virtual en los años 90.

Pronto se comprobó que la informática, por sí sola, no valía para crear realidad, sino que se debían tener en cuenta todos los factores de la realidad, incluyendo los humanos. Desde estos momentos iniciales, se empezaron a tener en cuenta la percepción humana, la tecnología de sensores, la generación de imagen en tiempo real y la total integración de todos estos parámetros al sistema. El ser humano debía interactuar con el espacio virtual y para ello - Sutherland lo dejó claro en su tesis- el ideal de mundo virtual debía ser multisensorial, los sensores debían dar la posibilidad de muchos grados de libertad, las imágenes debían ser ricas en complejidad y con una baja latencia y, por último, la integración de estos parámetros en un único sistema no debería presentar ningún tipo de retardo. Actualmente, sigue sin existir un sistema de realidad virtual tan perfecto como lo definía Sutherland.

La Espada de Damocles consistía en dos tubos de rayos catódicos de media pulgada de diámetro en los que se podían contemplar imágenes gráficas en la escena real utilizando un sistema de espejos. Todo este dispositivo estaba suspendido del techo mediante un brazo mecánico, lo que permitía conocer la posición y la orientación del usuario.

La Espada de Damocles empezó siendo monoscópica para, en el segundo prototipo, pasar a ser estereoscópica. Permitía contemplar la estructura de un objeto flotando en mitad de la habitación, llegando a poder ver las distintas caras a medida que se avanzaba por la misma. Con este prototipo nació la realidad virtual. El sistema incluía todas las características

necesarias que exige cualquier sistema virtual: estereoscopia, localización de la posición del usuario, posibilidad de navegar alrededor de un objeto y poderlo contemplar desde cualquier posición, inmersión del usuario, etc. El principal problema con el que se encontraron Sutherland y Cohen fue la calidad de los gráficos. Aún así, supuso la primera gran revolución de la realidad virtual. Este primer casco estereoscópico data de 1968 pero, anteriormente, en 1963, Hugo Gernsback, el padre de la ciencia-ficción, ingenió un prototipo de casco como se describe en Stashower (1990,45), para usar en la televisión de un modo profesional.

Sutherland se fue a trabajar a la Universidad de Utah. Allí conocería a *David Evans*, que era el jefe del Departamento de Informática, y con quien, años más tarde, fundaría la empresa *Evans&Sutherland*, la más importante empresa de simulación avanzada. Ed Catmull y Jim Clark, fundador de Silicon Graphics e inventor del Geometry Engine y del VSLI, un chip capaz de realizar las operaciones gráficas tridimensionales más elementales, estudiarían en este departamento junto a otros grandes investigadores de la informática gráfica como Blinn, Newman, Stern, John Warnock -que luego fundaría Adobe Corporation-, etc., en lo que se dio a conocer como fenómeno Utah. Otro gran centro de estudio de realidad virtual, junto a Utah y al MIT, fue la Universidad de Chapel Hill. Henry Fuchs dirigía las investigaciones en temas de hardware gráfico y aplicaciones en tiempo real.

En la Universidad de Utah, Sutherland fue capaz de perfeccionar sus investigaciones y el 1 de enero de 1970 se tuvo la primera experiencia sobre un HMD o casco estereoscópico, tal como se entiende actualmente, es decir, un dispositivo capaz de crear una perspectiva visual tridimensional a partir de unos gráficos, también tridimensionales, generados en un ordenador. Estos primeros dispositivos, con tecnología CRT en los monitores de visualización, eran capaces de exhibir 3.000 líneas a 30 fotogramas por segundo. La Universidad de Utah siguió investigando en esta línea, pero tanto Sutherland como los otros investigadores, fueron captados por la empresa privada para el desarrollo de los ordenadores personales. Utah centraría, a partir de 1974, el grueso de las investigaciones en torno a la síntesis de imágenes. Ed Catmull, que posteriormente fundaría la empresa dedicada a la animación Pixar, sería el gran creador de conceptos básicos como la técnica del z-buffering, del alfa-blending y la técnica del texturado. La realidad virtual exige la generación de gráficos muy realistas, en 3D y en tiempo real. En aquella época los ordenadores no se utilizaban más que para calcular y fue la aplicación de la informática a las técnicas militares de simulación de vuelo, lo que descubrió las posibilidades de la informática para crear imágenes sintéticas.

Pronto surgieron dos ramas distintas de investigación: la que se dedica a la generación de imágenes en tiempo real, y la que se dedica a la generación de imágenes lo más realista posible, sin el requerimiento fundamental del tiempo real.

De la primera surgió toda la simulación avanzada que hay en estos momentos. En cuanto a la segunda rama, películas como "Terminator II", "Parque Jurásico", "Toy Story" o la revolucionaria "Matrix", dan cuenta de la gran evolución que se ha llegado a conseguir. El interés de usar los ordenadores para la creación de gráficos ya había nacido años atrás. En 1953, se añade un terminal gráfico por primera vez, como ya hemos dicho, a un ordenador: es el llamado Whirlwind. Por esas fechas, Bert Sutherland crea el llamado lápiz óptico y en 1960, William Fetter, acuña el término Computer Graphics. En 1961, *E.E. Zajec* realiza la primera animación por ordenador de la que se tiene noticia. La tituló "Two-gyro gravity-gradient altitude control system". El primer lenguaje de animación 2D no llegaría hasta 1970, de mano de Ken Knowlton y su sistema *Beflix*. Este sistema manipulaba imágenes de 254*284 pixels con 3 bits por pixel, y permitía distorsionar de forma controlada una imagen.

La concepción moderna de programación con objetos, también es de principios de los setenta. K.M. Khan lo desarrollaría en su programa DIRECTOR, aunque en esos años no sería utilizado.

En el año 1977, se inició en el Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory Center un proyecto militar, dirigido por Tom Furness, para intentar aplicar los entornos virtuales a las cabinas de un avión. De aquí surgió, cuatro años más tarde, el VCASS (Visually-Coupled Airborne Systems Simulator o simulador de sistemas aéreos acoplado visualmente). En este casco también se superponían los gráficos del ordenador sobre imagen real y fue el primero en incorporar tubos de rayos catódicos de alta resolución, así como un sistema de localización de seis grados de libertad que permitía medir la posición y la orientación de la cabeza del usuario. Su enorme desventaja era su gran tamaño.

En esos mismos años y a raíz de la necesidad de saber en todo momento la situación del usuario, surgieron empresas como Polhemus, que se convirtió en la pionera en el campo de dispositivos de localización electromagnética. Frederick Brooks, en 1972 y en la Universidad de Carolina del Norte, desarrolla el primer prototipo de sistema con realimentación cinestésica, que se empieza a aplicar, por vez primera, en imágenes médicas.

También en los años 70, se iniciaron las tareas del laboratorio Ark-Mac, dirigido por Nicholas Negroponte y Richard Bolt. De allí surgiría uno de los más importantes laboratorios actuales de investigación en el campo de la realidad virtual: el Media Lab del MIT. La novedad del Ark-Mac fue integrar las ciencias cognitivas y las de computación con las cinemáticas y las de telecomunicación. De allí surgieron avances como sistemas de reconocimiento de voz y técnicas tridimensionales para transmitir las expresiones faciales.

En 1975, Myron Krueger crea un sistema en el que para detectar la posición del usuario se utiliza el reconocimiento de imágenes. Los primeros guantes utilizados como periféricos de

entrada son diseñados por Sandin y Sayre en 1977.

Krueger es uno de los padres fundadores de la *realidad artificial*, término acuñado por él mismo. Para este investigador, lo fundamental de los mundos virtuales no son tanto los efectos de video y sonido, así como los componentes conductistas, psicológicos, sociales y artísticos. Lo importante no es una mayor calidad en la visión estereoscópica o una mejor interacción con los guantes, sino integrar al usuario en un entorno en el que pueda experimentar la multisensorialidad. El primer entorno virtual de Myron Krueger tuvo lugar en 1969, en lo que denominó el GLOWFLOW, en el que no usaba el grafismo computerizado, sino minicomputadoras y sintetizadores de sonido ocultos, además de una red de tubos llenos de fluidos de colores fosforescentes. La parte interactiva del ambiente se producía mediante placas sensibles a la presión, a través de las cuales los visitantes controlaban tanta la luz como el sonido. Este primer entorno virtual tuvo un gran éxito entre el público.

Un año más tarde, Krueger exhibe el METAPLAY, en el que va más allá de las simples luces y sonidos sintetizados, incluyendo videocámaras, pantallas de video con proyección posterior, instrumentos de grafismo computerizados y 800 conmutadores sensibles a la presión. Con este entorno, el usuario podía verse a sí mismo inmerso en un mundo de imágenes tridimensionales, dirigidas desde un puesto de control.

En 1971, Myron Krueger vuelve a sacar una nueva obra: PSYCHIC SPACE. Nuevamente, una cabina de control recibía una imagen de video junto con los datos de los sensores situados en el suelo y paredes del habitáculo. De esta forma, se integraban los movimientos de los usuarios con los de los gráficos computerizados. Este experimento era un laberinto en el que el participante era representado gráficamente por un símbolo que se acercaba al borde superior de la pantalla, a medida que el usuario se acercaba a la pared, y al borde inferior si se alejaba. De este modo, la gente se podía mover por el laberinto para intentar escapar del mismo. Si intentaban hacer trampas, eran bloqueados por muros tridimensionales generados por ordenador.

En 1975, saca el VIDEOPLACE consistente en dos o más salas separadas entre sí. Las cámaras de video, las mezcladoras y los proyectores hacían posible que la gente, en cualquiera de las distintas salas, entrara en interacción con las imágenes de video de otros que estaban físicamente en otra parte. Krueger comprobó que las personas se identificaban plenamente con su silueta electrónica. Tuvo un notable éxito, además de ser una perfecta metáfora de las telecomunicaciones globales que nos están invadiendo hoy en día. Este espacio de comunicación interactivo global, ha seguido siendo desarrollado por Krueger hasta nuestros días, introduciendo nuevos elementos de interacción, como CRITTER, una criatura artificial que juega con la imagen de video del participante.

Krueger, por tanto, abrió nuevas vías y modos de entender la tecnología como un entorno interactivo que es, al fin y al cabo, la meta última de la realidad virtual.

En los años 80 se genera un gran impulso en la investigación tanto de síntesis de gráficos 3D como de periféricos de realidad virtual. Los motivos se resumen en el abaratamiento de las herramientas de proceso y circuitos integrados para el diseño de imágenes, así como, el surgimiento de software más complejo a raíz de descubrimientos como los fractales de *Benoit Mandelbrot* y el *ray tracing* de la empresa MAGI, cuya técnica consiste en calcular las reflexiones de la luz en toda la escena, pixel a pixel, para el renderizado de las imágenes. La realidad virtual y la infografía sale de los centros universitarios y militares para ser investigados, también, por la industria.

También, la Universidad de Carolina del Norte (UNC) tuvo un papel principal en el desarrollo de la realidad virtual, en estos primeros años 80. Bajo la dirección de Frederick Brooks y Henry Fuchs, se elaboró el casco "*See-Through Head Mounted Display*" con una resolución vertical de 220 pixels y horizontal de 320. En la UNC se utilizaron dos sistemas de generación de imágenes.

Uno de ellos consistía en un PS300 de Evans&Sutherland que proporcionaba dos imágenes, izquierda y derecha, en ventanas separadas, pero presentadas en una misma pantalla. Estas dos imágenes son filmadas por dos cámaras de televisión que las transmiten mediante señales UHF a un receptor situado en el cinturón del usuario.

El segundo sistema utiliza el procesador gráfico paralelo "Pixel Planes 5", que puede mostrar 700.000 polígonos sombreados por segundo. La UNC ha desarrollado, también, sistemas de interacción táctil, gestual,... Así, por ejemplo, creó el sistema "Walkthrough" que permite al arquitecto y a sus clientes explorar un edificio antes de ser construido, también, creó la "Virtual Mountain Bike", que permite desplazarse en una bicicleta real por un paisaje virtual. También entraron en el campo científico creando aplicaciones para la exploración funcional de moléculas, etc.

Uno de los centros de investigación privados más importantes en el campo de la realidad virtual, fue el Atari Research. esta gran empresa del sector de los videojuegos reunió en este laboratorio a los científicos que, posteriormente, más tendrían que decir sobre la realidad virtual. Por allí pasaron gente como Scott Fisher, Warren Robinett, Alan Kay, Eric Gullichsen, que fundaría Sense8 en 1989, William Bricken, etc.

Scott Fisher, considerado junto a Ivan Sutherland y Tom Furness, un padre fundador de la realidad virtual, pasa a trabajar a los laboratorios de Atari proveniente del MIT y el Arch-Mac, donde había investigado el tema de las pantallas estereoscópicas.

En 1986, Scott Fisher se incorpora a la NASA AMES Center para trabajar en el

proyecto VIEW. *Michael McGreevy* y *Jim Humphries* habían creado el visiocasco estereoscópico de bajo coste VIVED (Virtual Visual Enviroment Display) en 1985, influenciados por el sistema VCASS, construido en la Base de la Fuerza Aérea de Wright-Patterson, por *Tom Furness*. El VCASS constaba de CRTs en miniatura de alta resolución, fibras ópticas y mucha capacidad de computación. Estaba especialmente diseñado como medio de entrenamiento para pilotos de la Fuerza Aérea Norteamericana. Este investigador introdujo la idea revolucionaria de "puesto de pilotaje virtual", que consistía en presentar, sobre una burbuja panorámica virtual y tridimensional, toda la información que necesita el piloto para controlar el aparato. Se pasaba, por tanto, de la simple simulación a un sistema virtual utilizable en vuelos reales. El VCASS (Visually Coupled Airborne Systems Simulator) empezó a ser operativo en 1982. En el puesto de pilotaje virtual el piloto puede interactuar espacialmente con la imagen virtual, apuntando con un dedo hacia el símbolo del mando deseado y, posteriormente, confirmarlo verbalmente. También se pueden activar las funciones mirando las teclas de los mandos, mediante un sensor de infrarrojos, que controla con precisión la dirección de la mirada. Además, unas simulaciones táctiles y auditivas realzan los acontecimientos claves. Así, unos sonidos tridimensionales sintéticos aportan al piloto indicaciones complementarias y, dentro de los guantes, unas bolsas de aire señalan que un botón ha sido pulsado.

El VIVED, por otra parte, estaba construido a partir de dos pantallas LCD, diferencia fundamental sobre los cascos anteriores ya que abarataba el costo notablemente, sobre las que pusieron unas lentes LEEP, un sensor Polhemus, y un par de estaciones de trabajo de Evans&Sutherland. Y este sistema usaba algo que ningún otro sistema de realidad virtual había utilizado antes: un guante de datos. Esto fue posible gracias a la empresa VPL Research de la que hablaremos más adelante, aunque Warren Robinett fue el verdadero artífice del software integrador del guante en el sistema virtual. La NASA dio más dinero para las investigaciones ya que vieron las enormes posibilidades que aportaba el guante para aplicaciones de telerrobótica en reparaciones espaciales.

Este proyecto pasó a llamarse VIEW cuando llegaron Fisher y Robinett y se convirtió en el desarrollo de un sistema que proporcionara un entorno virtual de imágenes estereoscópicas y auditivas, sensibles a las entradas de gestos, voz y posición del operador. Fisher se basó en los trabajos de J.J. Gibson, el investigador de la percepción visual. Permitía que un operador pudiese explorar virtualmente un entorno en sus 360 grados e interactuar con todos sus componentes. El Virtual Interface Enviroment Workstation constaba de una unidad gran angular de representación visual estereoscópica, unos guantes para la entrada de datos con una libertad de movimientos múltiple, tecnología de reconocimiento y síntesis de la voz,

sensores para el movimiento de gestos, sonido tridimensional y un equipo para la generación de gráficos por ordenador y de imágenes por video. Se llegaron a conseguir 30 imágenes por segundo con 300 líneas de resolución de televisión, en un casco que simulaba un campo visual de casi 360 grados intercaladas con imágenes reales estereoscópicas provenientes del video para los entornos a distancia. A lo largo de este proyecto surgieron varios de los conceptos que forman parte, actualmente, de los paradigmas de control de experiencias inmersivas, tales como escalado del mundo virtual, vuelo virtual, manipulación de objetos, etc. La idea de telepresencia de Marvin Minsky, muy presente en esos años, había avanzado lentamente. El sistema VIEW pasó a ser el más avanzado en esta idea.

Posteriormente, centraron sus esfuerzos en una tecnología de procesamiento de señales de tiempo real que permita combinar múltiples fuentes de video con imágenes generadas por ordenador. El equipo de Fisher construyó una videocámara estéreo en una plataforma remota con suspensión universal, capaz de proporcionar imágenes estéreo en tiempo real. La NASA quería investigar el modo de reparar los daños en una estación orbital sin necesidad de enviar un alto número de astronautas, y este sistema se estaba convirtiendo en el mejor modo de realizar actos de telepresencia.

El sistema VIEW fue mejorado con el sonido tridimensional Convolvotron, que mejoró la sensación de realidad del sistema. El sonido Convolvotron se basa en el HRTF (Función de Transferencia Relacionada con la Cabeza), un conjunto de respuestas matemáticamente modelables que nuestros oídos imponen a las señales que les llegan desde el aire.

La característica más importante de las investigaciones de Fisher es que, aún trabajando para la NASA, fue el primero en afirmar que la verdadera trascendencia en aplicaciones de realidad virtual no sería el campo aeroespacial sino los simuladores quirúrgicos, la educación,..., y demás ámbitos sociales. Scott Fisher fue el primer científico en divulgar y acercar la tecnología de la realidad virtual, al común de los ciudadanos. Fisher se fue de la NASA en 1990 y formó, junto a Brenda Laurel, el Telepresence Research, un centro que sirvió para crear un proyecto educativo y un plan de entrenamiento en realidad virtual. El proyecto VIEW fue desechado por la NASA pero, los componentes del mismo, siguen investigando en modelos planetarios virtuales para la exploración de los mismos, gracias a los datos de las sondas enviadas al espacio por la NASA. Este organismo, sin embargo, ya no es la meca de la realidad virtual, en cuanto a investigación se refiere. Las empresas privadas (Autodesk, Sense8, Telepresence Research, Division, Fake Space Labs, etc.) han ocupado este lugar, aunque todos han bebido en las fuentes de la NASA. No obstante, la empresa privada más importante del sector de la realidad virtual comercial ha sido VPL Research y su fundador, Jaron Lanier.

En 1980, la compañía StereoGraphics inventa las gafas de visión estéreo. En 1982

Jaron Lanier y Thomas Zimmerman presentan el Dataglove, un guante que sirve para manipular datos en el ciberespacio y que se ha convertido en un instrumento fundamental de interactividad en mundos inmersivos. Hasta 1986 no sería comercializado por la empresa VPL Research, que habían fundado los mismos creadores.

Jaron Lanier se ha convertido en pocos años, en la principal estrella de la realidad virtual por todo el mundo. Su excéntrica personalidad, su aspecto desaliñado y su manera de entender los ordenadores como creadores de nuevos mundos y formas de expresión, le ha hecho valedor de esta fama. Lanier, que él se define como músico y no como investigador, empezó trabajando haciendo efectos musicales para los videojuegos de Atari. Pronto aprendió a programar y, en 1983, realizó el videojuego Moondust, que le proporcionó notables beneficios a la empresa y a él mismo. Con este dinero, fundó la empresa más conocida de realidad virtual: VPL Research, Inc. Su primera creación independiente fue el lenguaje de programación Mandala que, en lugar de basarse en órdenes lógicas con una formulación matemática, se centraba en un modo de dictar órdenes a la máquina no tan normativo, además de hacerlo mediante gráficos que eran agradables a la vista del programador. Como vemos, desde el principio Lanier quería lograr que las computadoras habiliten a las personas a intercambiar simulaciones del mismo modo que, normalmente, se intercambian palabras habladas y escritas entre seres humanos.

La verdadera revolución que la empresa VPL aportó a la realidad virtual fue el guante de datos y Jaron Lanier conoció a su inventor, Thomas Zimmerman, durante una convención de músicos que utilizaban los ordenadores para su trabajo, celebrada en 1983. Zimmermann había patentado el guante en 1982 con la patente de Estados Unidos nº 4.542.291. Lanier y Zimmermann coincidieron trabajando en el laboratorio de Atari, junto a Scott Fisher, y allí decidieron unir sus intereses. Zimmermann fue uno de los fundadores de VPL Research, asignando la patente del guante a la empresa, mientras que Lanier dio la idea de adjuntar sensores de posición absoluta al guante. Charles Blanchard, Young Harill y Steven Bryson se les unieron para perfeccionar el software que conectaba las señales desde el guante al modelo del mundo en el ordenador. Pero pasaron varios años hasta que VPL junto a la NASA/Ames perfeccionaran el software del guante.

En 1987, la empresa AGE le ofreció a la VPL entrar en el mundo de los juguetes y desarrolló el Powerglove para Nintendo, que se convirtió en uno de los accesorios más populares para videojuegos en todo el mundo. Desde ese momento, la VPL ha dominado el mercado de la realidad virtual, tanto a nivel científico con su Dataglove desarrollado junto a los científicos de la NASA, como a nivel de entretenimiento con su Powerglove y demás evoluciones del mismo.

Pero en ambos negocios no está sola. Elizabeth Marcus elaboró un dispositivo dermatoesquelético -más complicado de manejo que el Dataglove-, mientras estuvo en la compañía Arthur D. Little y, posteriormente, formó su propia compañía Exos, Inc., para comercializarlo bajo el nombre de exoesqueleto. La novedad de este aparato era que, en cada articulación, un sensor mide la deflexión angular y, de este modo, se sabe la posición exacta de cada articulación. James Kramer, un estudiante de ingeniería eléctrica de Standford, elaboró otro tipo de guante con calibradores de tensión que convertía el lenguaje gestual de los sordomudos en palabras, lo que resultaba bastante útil para personas sordomudas y ciegas.

La VPL no se quedó parada y empezó a desarrollar sistemas de casco para realidad virtual. La novedad en el primero de ellos era que tenía una óptica especial de gran angular y de baja distorsión, fabricado por Eric Howlett, que había sido la persona que suministraba la óptica para Fisher y McGreevy cuando ambos trabajaban para la NASA. En 1987, creó el DataSuit, que era un traje de buceo con sensores por todo el cuerpo para crear una representación virtual del cuerpo humano entero en los mundos virtuales. El funcionamiento se basaba en los mismos principios que el Dataglove. Con todas estas innovaciones, la VPL se convirtió, entre los años 1988 Y 1990, en el principal distribuidor de guantes y gafas, así como de sistemas virtuales completos, incluido el software, para empresas de investigación.

En 1990, la VPL pasó a su plan de desarrollo del mercado. Firmó un acuerdo con la Matsushita Electric Works para crear cocinas virtuales. Matsushita tiene una base de datos de modelos CAD de todos sus productos. Con esta base de datos y los sistemas de VPL, se hizo realidad el que los clientes vayan a los establecimientos e introduzcan las dimensiones de su cocina para crear un modelo virtual de la misma. En ese momento, el cliente puede colocar todo lo que necesita en la misma y comprobar cuál va a ser el aspecto final de la misma y observar como se mueve dentro de ella. Esta fue la aplicación mercantil más importante de VPL en esos años, pero no la única. Otro proyecto fue crear diseños de interiores virtuales para automóviles, siguiendo la misma filosofía que las cocinas Matsushita. También construyeron salones de entretenimiento virtual junto a grandes empresas del sector, además de entrar en el diseño aeronáutico, así como mejorar el proyecto original de la NASA/Ames para crear un "cadáver virtual" y simular operaciones quirúrgicas de alto riesgo en el mismo. Por último, también se dedicaron al lucrativo negocio de la visualización de los sistemas financieros.

Hollywood no se quedó impasible ante todos estos avances informáticos. Alex Singer, famoso por su dirección de la serie "Canción triste de Hill Street", estaba preparando por aquel entonces una película titulada "A Man and a Woman and a Woman", que trataba de dos personajes que se enamoran en una exhibición de realidad virtual. Pretendía dar la misma popularidad a la tecnología virtual entre los adolescentes que, en su día, hiciera la película

"Juegos de guerra" con las computadoras. Posteriormente, películas como "El cortador de césped" o "Acoso" han intentado tomar esta idea, pero no lo han conseguido totalmente. Hollywood ha vendido más la generación de imágenes infográficas como una parte importante de publicidad, para la distribución de sus películas. Recientemente, uno de los éxitos publicitarios más notables ha sido promocionar que "La amenaza fantasma" de George Lucas usaba más imágenes infográficas que "Titanic", película oscarizada gracias, entre otras cosas, al realismo conseguido en sus imágenes por los efectos digitales producidos por los ordenadores. Es importante recordar que, hasta el momento, el cine puede abordar el tema de la realidad virtual, pero nunca utilizarla como medio tecnológico de realización.

La industria de la televisión está siendo más receptiva a la tecnología virtual, puesto que ésta permite animar personajes en tiempo real. Los técnicos de la Fuji-TV de Tokyo utilizan esta técnica en sus programas de televisión.

La empresa VPL presentó, también, el sistema RB2, cuyo mayor logro era que dos personas podían compartir un mismo mundo virtual. Jaron Lanier, gracias al éxito de esta experiencia, empezó a organizar una red de telecomunicación virtual de prueba a nivel nacional. La idea era crear un canal de telecomunicación de realidad virtual para compartir información y llevar a cabo exploraciones conjuntas sobre cualquier tema científico. Los pioneros de esta experiencia fueron, en 1991, la VPL y la Universidad de Carolina del Norte (UNC) para, posteriormente, unirse el Laboratorio de Tecnología de la Interfaz Humana de Seattle y el Media Laboratory. Para esto inventaron un lenguaje de programación que recibía órdenes directas previamente prefijadas, es decir, es más fácil mandar, vía telefónica, la orden "mover el brazo" y que el ordenador personal receptor tenga esa orden prefijada, que mandar las órdenes de software que el ordenador necesita para realizar esa operación. El problema es la falta de improvisación que goza este sistema de comunicación. Actualmente, en Internet se está abogando por espacios virtuales de información, puesto que el desconocimiento de idiomas por parte del usuario impide, en muchos casos, la comunicación entre distintos usuarios.

Lanier, recientemente, fue despedido de su propia empresa, VPL Research, pero, aún así sigue siendo el gran gurú de la "comunicación postsimbólica", término que él mismo acuñó para definir este nuevo modelo comunicativo que lleva implícita, según Lanier, la tecnología de lo virtual.

No obstante, VPL Research no es la única empresa importante de realidad virtual en nuestros días. La empresa Autodesk, fundada por John Walker, se está convirtiendo, a pasos agigantados, en la empresa más puntera en cuanto a investigación y desarrollo de realidad virtual.

En 1987, la empresa Dimension -que ahora se llama Superscape- desarrolla el

Freescape, un software de creación de mundos virtuales sobre PCs. El año 1988 se convierte en un año importante de creación de empresas dedicadas a la realidad virtual. J. Waldren funda en Inglaterra W Industries que en 1993 pasaría a ser el Virtuality Group, y Mark Bolas funda Fake Space Labs, que se dedica a sistemas binoculares para realidad virtual. Autodesk, en ese mismo año, crea su departamento de investigación sobre mundos artificiales, denominado Cyberia.

Al año siguiente, 1989, Atari saca sus primeros videojuegos con tecnología 3D. VPL y LEEP Systems comienzan a fabricar sus primeros cascos comerciales; Tom Furness funda HITL en la Universidad de Washington, que arrastraría a eminencias como William Bricken; Lusted y Knapp fundan BioControl Systems, dedicada a la investigación en el campo del control bioeléctrico; Autodesk presenta su primer sistema de realidad virtual que corre sobre PC.

Desde 1995, el Laboratorio de tecnología de la Interfaz Humana, fundado por Tom Furness y William Bricken en la Universidad de Washington están dando grandes pasos adelante. Un ejemplo es la idea de investigación acerca de sustitución de las pantallas de cristal líquido (LCD) por un microescaner de láser. Este sistema utiliza los láseres empleados en cirugía ocular. Tiene la ventaja de poder prescindir del engorroso equipo óptico necesario para enfocar las imágenes virtuales clásicas. Además, elimina los pixels, ya que el rayo láser estimula directamente los conos y bastones del ojo, produciendo sensaciones visuales de gran calidad.

En el resto del mundo las investigaciones no han sido tan importantes como en los Estados Unidos aunque, en los últimos tiempos, se está avanzando considerablemente.

En Quebec (Canadá), la empresa CAE Electronics, desarrolla un casco de visualización por fibra óptica para los simuladores de combate aéreo y la conducción de vehículos teledirigidos. Las imágenes se transportan por fibra óptica, para visualizarse a través de prismas que permiten leer, a la vez, la información exhibida en el puesto de pilotaje y en los visores del casco estereoscópico. El seguimiento de posición de la cabeza se efectúa gracias a dos sensores que siguen el rastro de diodos electroluminiscentes infrarrojos. Activando secuencialmente los diodos, los sensores ofrecen los datos de la posición de la cabeza.

En Europa y Japón también se están desarrollando las investigaciones del entorno virtual. En el Centro Europeo de Investigación y Tecnología Espacial, ubicado en Holanda, se está empezando a emplear un Datasuit de VPL para estudiar la antropometría y la biomecánica humanas en ingravidez, así como el entrenamiento en actividades fuera de los vehículos espaciales.

En Inglaterra, dos empresas han desarrollado sistemas de generación de mundos virtuales. Charles Grimsdale, de la empresa Division Ltd., ha creado un entorno que permite a

numerosos usuarios poner en común bases de datos virtuales para procesarlas interactivamente. Por otro lado, Jonathan Waldern, de W Industries, ha diseñado una estación de simulación virtual de bajo coste llamada "Virtuality", con una gran resistencia al uso generalizado y no especializado. Esta máquina ya se está haciendo bastante frecuente en la mayoría de los salones recreativos por todo el mundo.

La realidad virtual, gracias a su implantación en el sector del entretenimiento principalmente, empieza a tener su hueco en la opinión pública. Asimismo, el desarrollo otro tipo de paradigmas como la CAVE, DOMO, y BOOM, que apareció en 1989, han hecho de la realidad virtual un mundo apasionante de investigar por lo que queda aún por descubrir. De todos modos, la imaginación del ser humano va siempre un paso por delante de lo que la realidad puede ofrecer, incluso, hoy en día.

El marketing se ha encargado de hacer rentable un aspecto de la informática que, en cierto modo, surgió como instrumento militar, sólo y exclusivamente. Las aplicaciones a las demás ciencias y las posibilidades en el mundo del ocio han hecho posible que la realidad virtual se haya convertido en un negocio en el que se mueven muchos miles de millones de dólares al año.

Al haber una mayor demanda la oferta se ha incrementada y los costes han disminuido considerablemente. Numerosas compañías empiezan a ofrecer periféricos, tarjetas gráficas, software para aplicaciones, a un precio lo bastante asequible como para que lo pueda comprar cualquier usuario de PC y poder disfrutarlo en casa.

Las empresas del sector de periféricos creadas en los años ochenta se han consolidado en el sector repartiéndose el mercado de un modo natural, según la línea de investigación con la que nacieron.

En el de las empresas dedicadas al software, las inglesas Superscape y Division junto a las americanas Sense8 y VREAM, copan el mercado actual. IBM es la empresa que está intentando penetrar en el sector.

En cuanto a las plataformas, si son profesionales, destacan Evans&Sutherland y Division. Silicon Graphics es la líder indiscutible en cuanto a las estaciones de trabajo tanto para uso de construcción de imagen sintética como en la construcción de entornos gráficos para simuladores en tiempo real. La realidad virtual para PC corre a cargo de la empresa alemana Spea y la británica Division. En cuanto a las aplicaciones para ocio, destaca Virtuality.

Son dichas aplicaciones al ocio las que están gastando más recursos en el desarrollo de realidad virtual. Empresas americanas y japonesas se están aliando para crear videojuegos capaces de sobrepasar la barrera de la realidad. El juego Sonic II de Sega recaudó 500 millones de dólares en 1993 en los Estados Unidos, 200 millones más, por ejemplo, que la película

Parque Jurásico. Empresas enteras están cambiando su estrategia de mercado al abandonar la investigación industrial y pasarse al desarrollo de videojuegos.

En España no hay muchas empresas, todavía, dedicadas al sector. CASA está desarrollando un casco de alta resolución para entrenamiento de astronautas para la Agencia Espacial Europea. La empresa APD, que lidera un consorcio de empresas europeas, desarrolla un sistema llamado MOONLIGHT para juegos 3D y realidad virtual, dentro del programa europeo ESPRIT. CESELSA goza de gran experiencia en el área de los simuladores de vuelo. RTZ Technologies tiene la representación de Superscape en España y desarrolla aplicaciones en realidad virtual. El LISSIT (Laboratorio Integrado de Sistemas Inteligentes y Tecnología de la Información en Tráfico) de Valencia, ha creado entornos interactivos en tiempo real que representa el futuro de la Ciudad de las Ciencias en Valencia. Además, ha creado simuladores de conducción aprovechando toda la tecnología y todos los datos provenientes de su función principal.

La empresa Realidad Virtual S.L., con José Antonio Mayo a la cabeza, se ha convertido en la mayor difusora de este tipo de tecnología en nuestro país por medio de exposiciones, conferencias y cursos. Ha desarrollado, también, algunas aplicaciones dentro del mundo del ocio y la industria, y goza de una destacada labor de consultoría.

La conferencia SIGGRAPH, la revista CyberEdge Journal y, actualmente, Internet, están dando un gran empuje a la difusión y divulgación de lo que es la realidad virtual. No obstante, SIGGRAPH sigue siendo el gran foro de debate en torno a la imagen generada por ordenador, tanto en tiempo real como en infografía. Fue creado por la asociación ACM en 1966 y su primer congreso fue en 1969 en Boulder (Colorado).

El futuro de la misma pasa, al igual que las comunicaciones, por el cable óptico. En el fondo, la realidad virtual no es más que eso: un nuevo medio de comunicación al alcance de todos cuya gestión se hará a base de redes en las, cada vez mejor denominadas, autopistas de la información.

Capítulo 4.

EL SENTIDO DE LA VISTA EN LA REALIDAD VIRTUAL

4.1. FUNDAMENTOS FISIOLÓGICOS

Definimos la *percepción* como el mecanismo mediante el cual nuestros sentidos procesan la información en forma de energía que nos llega desde el exterior de nuestro cuerpo, es decir, desde el ambiente en que nos movemos.

Los sentidos del cuerpo humano son la parte fundamental de dicho proceso, ya que son las vías a través de las cuales nos llega la información para su posterior procesamiento en el cerebro.

El ojo es, sin lugar a dudas, un órgano clave en el desarrollo de este acontecimiento. El 80% de la información del entorno nos llega a través de la visión. La *percepción visual* es, por tanto, el proceso que recoge más datos del entorno para su posterior tratamiento en el cerebro.

La realidad virtual no es más que la simulación de un entorno creado artificialmente. Del mismo modo que en un entorno natural, los estímulos perceptivos del entorno artificial llegan al cerebro por medio de los sentidos y, también, de una forma bastante importante, por medio de la visión. La transcendencia que adquiere, para generar realidad virtual, el hecho de conocer como funciona la visión, tanto fisiológica como psíquicamente, adquiere una gran relevancia, ya que si averiguamos como ve el ojo, tendremos un excelente punto de partida a la hora de crear las simulaciones de realidad en torno a las cuales se basa la realidad virtual.

Aunque se tienen bastantes datos sobre como el ojo recoge datos del entorno, no se sabe mucho acerca del siguiente paso, es decir, como se pasan dichos datos del ojo al cerebro.

Tanto la fotografía como, posteriormente, el cine y la televisión se han basado en el primer paso de la percepción visual. Es más, hay una gran similitud entre esta tecnología y la fisiología del ojo. Se puede hacer, incluso, una comparación entre el

funcionamiento del ojo y el de una cámara fotográfica, para así descubrir, de una manera más comprensible, como se comportan normalmente ambos captadores de luz.

La *esclerótica* sería la cámara y es lo que normalmente conocemos como blanco del ojo. Es la membrana más externa y se caracteriza por ser gruesa, opaca, resistente y fibrosa. Está provista de dos aberturas: una anterior, la *córnea*, y otra, posterior, por donde llega el nervio óptico.

El *coroides* se identificaría con el revestimiento negro de la cámara fotográfica. Es la membrana media del ojo, siendo un tejido muy vascularizado lo cual proporciona las sustancias necesarias al ojo. De un color muy oscuro debido a una elevada concentración de un pigmento llamado *melanina*, es lo que convierte al ojo en una cámara oscura. En su parte anterior se prolonga el *músculo ciliar*, y en la parte posterior se halla interrumpido por el *nervio óptico*.

El *iris* cumple la misma función que el diafragma en una cámara. En el *iris* se encuentra un orificio, la *pupila*, que, accionada por unos finos haces musculares situados en el *iris*, puede contraerse o dilatarse y, así, permitir la entrada de más o menos luz en el interior del ojo.

La *córnea* y el *cristalino* constituirían el objetivo de la cámara. La *córnea* es el primer filtro a la luz del ojo; es una lente totalmente transparente que deja pasar la luz.

El *cristalino* es una lente biconvexa formada por un entramado de fibras transparentes. Su tamaño aumenta con la edad, debido a que se crean constantemente nuevas fibras, por lo que pierde elasticidad y el poder de enfocar objetos cercanos. Está sujeto al músculo ciliar por un haz de fibras denominado *zónula*. La acomodación es el proceso mediante el cual, el cristalino, modifica la “distancia focal” del ojo, de tal forma que los objetos situados entre el punto más cercano y el punto más lejano se encuentren a foco. No obstante, la acomodación del cristalino para el enfoque de imágenes es totalmente distinto al de una cámara fotográfica. Este proceso de acomodación implica cambios en la convergencia de la lente biconvexa que forma el cristalino, los cuales se producen por la presión que ejerce sobre él, el músculo ciliar. Si el músculo ciliar se contrae, la *zónula* pierde tensión y el cristalino aumenta su curvatura, enfocando así los objetos situados en el punto más cercano. Si el músculo ciliar está relajado, la *zónula* está tensa, lo que provoca un aplastamiento del cristalino, enfocando de este modo a los objetos en el punto más lejano.

En realidad virtual las imágenes se encuentran a una distancia muy corta debido a que los monitores de los cascos se sitúan muy cerca de los ojos. Esto hace que el proceso de acomodación del ojo tenga que ser mayor, ya que los músculos ciliares deben aumentar más el espesor de la lente y de esta forma incrementar la curvatura de la misma para poder enfocar mejor las imágenes. Esto supone un sobreesfuerzo del ojo, lo cual provoca que al cabo de poco tiempo el ojo se canse, pudiéndose producir ciertos mareos.

El enfoque adecuado de un objeto depende de la naturaleza de la luz y de cómo se comporta cuando atraviesa un medio de distinta densidad. Precisamente, el mal enfoque de los rayos de luz provoca aberraciones de dos tipos en la percepción visual. Bruce y Green (1992, 48) definen dos tipos de aberraciones: *aberraciones esféricas, en las que los rayos paralelos son conducidos a focos diferentes dependiendo de la separación respecto al eje con la que llegan a la lente*; y otras como *aberraciones cromáticas, en las que el índice de refracción de un medio varía con la longitud de onda de la luz, de tal modo que diferentes longitudes de onda son enfocadas en planos ligeramente diferentes*.

Hay que partir del hecho que una imagen se forma sobre una superficie. En el ojo o en la placa fotosensible de una cámara fotográfica, la luz es desviada de su trayectoria o lo que es lo mismo, es refractada al pasar de un medio a otro medio con diferente densidad. Así, al ser atravesado el cristalino por la luz, que siempre va en forma de rayos paralelos, se refracta o se desvía de su trayectoria para converger en un punto, que es el plano focal de la lente o la retina en el ojo humano. Este grado de desviación de la luz viene determinado por la diferencia entre los índices de refracción de los dos medios que atraviesan los rayos luminosos. En una lente biconvexa, como es el cristalino, los rayos de luz paralelos se desvían con un ángulo proporcional a su distancia respecto al eje de la lente llegando al plano focal donde vuelven a converger en un punto. La longitud existente entre el plano focal y el centro de la lente es lo que se denomina *distancia focal, f*.

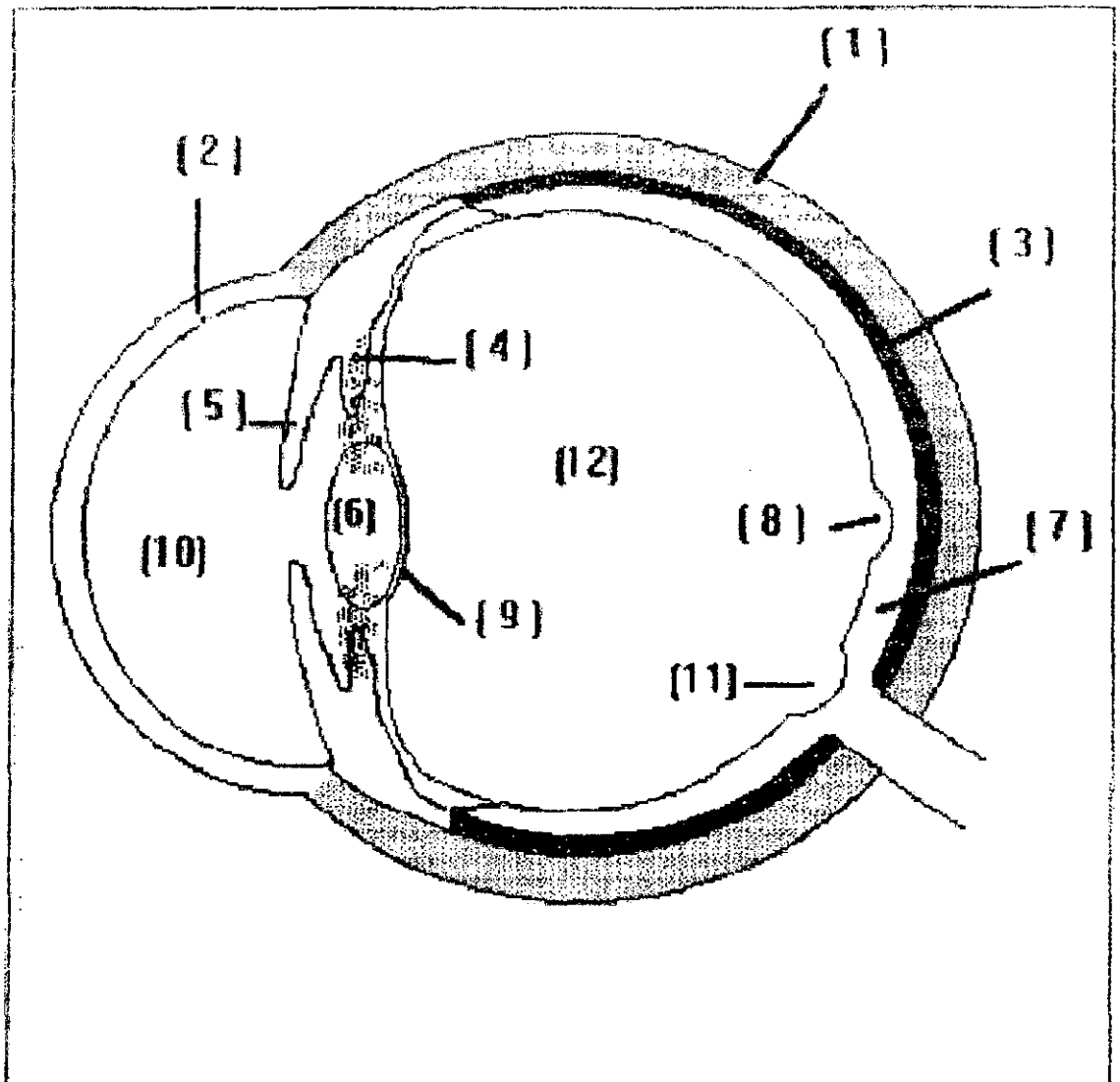
En el ojo humano, al igual que en la mayoría de los vertebrados, se pueden encontrar hasta cuatro superficies en las que hay un proceso de refracción de la luz: *la córnea, la lente, el humor acuoso y el humor vítreo*.

El humor acuoso está compuesto por una solución de albúmina en agua salada y por lo tanto es fácilmente regenerable. El humor vítreo es una sustancia gelatinosa que se encuentra entre el cristalino y la retina siendo difícil de regenerar.

La imagen que hemos enfocado debe tener un plano de enfoque, es decir, un lugar en el ojo donde quede registrada, como lo es la placa fotosensible en una cámara fotográfica. Esta función, en el ojo, lo cumple la retina.

La retina es la membrana más interna en la sección del ojo; está adosada a la coroides pero no soldada, siendo el humor vítreo lo que hace que no se desprenda. La retina tiene encomendada la trascendental tarea de convertir la luz proyectada a lo largo del ojo en señal eléctrica, para su posterior procesamiento en el cerebro que es el lugar donde realmente vemos.

Una gran parte de la información de nuestro entorno nos llega por nuestros ojos en forma de ondas luminosas. Esta información del entorno tiene una cualidad espacial y una cualidad temporal que indican el lugar y el orden en el que ocurren los acontecimientos.



1.- Esclerótica
2.- Córnea
3.- Coroides
4.- Músculo Ciliar

5.- Iris
6.- Cristalino
7.- Retina
8.- Fóvea

9.- Hialoides
10.- Humor acuoso
11.- Punto ciego
12.- Humor acuoso

Después de pasar toda esa serie de “filtros” que contiene el aparato ocular, la imagen, todavía en forma de señal lumínica, llega a la retina.

En la retina se produce la segunda etapa de la percepción visual: la transformación de la señal lumínica en señal eléctrica para que pueda ser enviada, mediante el nervio óptico, al cerebro, donde se realizará su procesamiento.

El ojo es, por tanto, tal y como lo define Kandel (1991, 29) *un instrumento óptico para enfocar la imagen visual en la retina con una mínima distorsión óptica*.

La retina descansa sobre el *pigmento epiteliano*, el cual se encuentra al final del ojo. Las células del pigmento epiteliano ayudan a las células fotorreceptoras (*conos y bastones*) resintetizando los pigmentos visuales fotosensitivos y fagocitando los segmentos externos. Es este el motivo por el que los fotorreceptores conectan directamente al pigmento epiteliano, mientras que las otras células retinales están más próximas a la lente.

En resumen, la luz sigue este proceso: pasa primero por las *células retinales*, las cuales pueden ser *células horizontales*, *células bipolares*, *células amacrinas* y *células ganglionares*, encontrándose entre los fotorreceptores y el humor vítreo, para después llegar a los conos y bastones, que se encuentran conectados al pigmento epiteliano.

La retina es lugar de ubicación de la *fóvea* y del *punto ciego*. En la fóvea las células retinales se sitúan a un lado para que los fotorreceptores reciban luz sin ninguna distorsión, siendo aquí donde se proyecta la llamada *zona de interés*, que es la zona de mayor definición de la visión. El punto ciego carece por completo de conos y bastones.

Los fotorreceptores, conos y bastones, son una parte fundamental de la fisiología de la visión. Por su importancia merecen un tratamiento especial.

Los bastones están especializados en la visión nocturna debido a que tienen más fotopigmentos que los conos, por lo que son más sensibles a la luz y capturan una mayor cantidad de la misma. Son capaces de detectar un único fotón de luz pero se saturan con la luz del día. Dan su mejor respuesta con luz en blanco y negro. En cuanto a su resolución temporal, (antes vimos que la información que da la luz a nuestros ojos es tanto espacial como temporal), los bastones tienen una baja respuesta detectando, tan sólo, el parpadeo cuando la onda lumínica le llega a 12Hzm, es decir, una frecuencia de onda muy baja, siendo más sensibles a la luz dispersa.

El sistema de bastones tiene una baja capacidad de agudeza debido a que la conversión retinal de señal lumínica que llega a los bastones en señal eléctrica, no se produce en la fóvea central, por lo que el grado de definición es menor. Además, son acromáticos, es decir, poseen un solo tipo de pigmento. La distribución de los ciento veintitrés millones de bastones que, aproximadamente, hay en el ojo tiene bastante relación con esta falta de agudeza. En el centro de la fóvea no existen, pero, a medida que nos vamos alejando de la misma, aumenta su concentración hasta llegar a un máximo de 160.000 bastones por milímetro cuadrado, a una distancia de unos 6mm del

centro de la fovea. Su presencia va disminuyendo paulatinamente según nos acercamos a los extremos de la retina en los que hay unos 50.000 bastones por mm². Otro motivo para explicar esa falta de agudeza es que el sistema de bastones es convergente, es decir, muchos bastones se juntan o sinapsan en la misma interneura, una célula bipolar, lo que reduce su capacidad para transmitir variaciones espaciales de la imagen visual debido a que las diferencias en las respuestas de los bastones colindantes son promediadas en la salida de la interneura. El motivo, sin embargo, de que sean muy sensibles a captar luz cuando ésta es escasa es debido, precisamente, a su sinapsis en las células bipolares, ya que en ellas las señales de los bastones se fusionan reforzándose unas a otras, lo que provoca que en la salida de la interneura haya una mayor cantidad de información acerca de las ondas lumínicas, dando, así, más capacidad al cerebro para detectar los puntos de luz.

Los conos tienen una menor sensibilidad. La cantidad de conos existentes en la retina oscila entre los siete millones aproximadamente. Están especializados en la visión diurna y sólo se saturan con luz intensa, siendo más sensibles a los rayos que les inciden directamente. Tienen una respuesta más inmediata que los bastones, lo que provoca que estén más preparados para poder recibir la información temporal. Son capaces de detectar un parpadeo a 55Hz, lo cual es bastante teniendo en cuenta, por ejemplo, que el parpadeo de la señal de televisión es de 25Hz y, a esa frecuencia, se supera con creces el problema de la información espacio-temporal.

Esta mayor capacidad de gestión para recibir la información espacio-temporal se debe a que el sistema de conos está concentrado en la fovea, con una distribución complementaria a la de los bastones, los cuales, como hemos visto antes, casi ni existen en ese punto. Hay 150.000 conos por mm² en la fovea y su presencia va disminuyendo según nos vamos acercando al borde de la retina, donde apenas existen. Además, sólo unos cuantos conos convergen en cada célula bipolar; de hecho, las señales procedentes de los conos situados en la fovea no están fusionados en absoluto, lo que provoca que cada información vaya por separado y no haya promedios de ningún tipo a la salida de las interneuras.

Los conos son cromáticos, es decir, hay tres tipos de conos, cada uno de los cuales contiene un pigmento diferente sensibles al rojo o al verde o al azul, contemplando todo el espectro visible ya que son sensibles a los colores primarios. Por tanto, son los conos los que se encargan de la percepción del color.

En resumen, los bastones proporcionan una visión de alta sensibilidad con luz débil, mientras que los conos proporcionan una elevada agudeza visual con luz brillante. Los humanos, por tanto, tenemos una gran agudeza visual durante el día y una gran sensibilidad a la falta de luz de la noche.

Pero, ¿en qué consiste eso de la agudeza visual?. La verdad es que es un factor clave a la hora de comprender el proceso visual y ha sido uno de los aspectos fundamentales a la hora de intentar “engañar” al ojo desde el punto de vista tecnológico.

En la televisión, el establecimiento del número de líneas que hicieran el barrido por la pantalla y la distancia entre las mismas, dependieron totalmente de la agudeza visual del ojo humano. En realidad virtual no ha sido muy bien resuelto hasta ahora, puesto que todos los sistemas de proyección (cascos estereoscópicos, BOOM, CAVE, etc.) son ampliamente superados por la agudeza visual del ojo. No basta “engañar” con el movimiento y barrido de la señal de vídeo sobre la pantalla –como es el caso de la televisión –, sino que se debe crear una sensación de inmersión en esa realidad creada y proyectada. El grado de agudeza visual artificialmente conseguido debe ser, por tanto, bastante mayor, hasta intentar llegar a un grado similar al que tienen nuestros propios ojos al observar el entorno que nos rodea.

La agudeza visual consiste en la habilidad de una persona o animal en detectar patrones espaciales finos. Se suele medir por medio de un patrón de barras oscuras verticales y paralelas de la misma anchura y separadas por barras claras del mismo espesor. Las barras se van haciendo cada vez más estrechas y llega a un punto en que el observador no es capaz de distinguir unas barras de otras, dejando de ver con claridad. Esto no depende de la distancia a la que se encuentra el observador, sino lo que se mide es el ángulo que forma una barra con respecto al ojo. A esto se le llama *ángulo visual*, y, en condiciones de iluminación óptimas, el ojo humano puede resolver la separación del centro de una barra clara con una barra oscura en unos 0,5 minutos de arco.

Más concretamente, según Bruce y Green (1992, 29) *la agudeza visual está limitada por varios procesos, siendo la primera, la eficiencia con la que el aparato óptico del ojo transforma el patrón espacial del orden óptico sobre la retina; el segundo es la eficiencia con la que las células receptoras transforman en ese patrón en un patrón de actividad eléctrica; y el tercero es la extensión con la que es detectada por el aparato neural de la retina y el cerebro la información disponible en el patrón de actividad de la célula receptora.*

La agudeza visual también depende de factores como la difracción producida al atravesar la luz el diámetro de la pupila, los movimientos incesantes de los globos oculares, el contraste de la propia imagen, y el mecanismo de acomodación del cristalino para poder enfocar la imagen. El proceso de enfoque del cristalino es bastante curioso: se sabe que el *máximo de sensibilidad* del ojo se encuentra a una longitud de onda de unos 555nm (1 nanómetro equivale a 10^{-9} metros), es decir, en el verde; el cristalino enfoca la imagen de forma que esta longitud de onda quede “a foco” sobre los conos, por lo que las demás longitudes de onda quedarán enfocadas delante (menor longitud de onda, es decir, hacia el azul) o detrás (mayor longitud de onda, es decir,

hacia el rojo) que las radiaciones verdes. La consecuencia es que los detalles rojos y azules tendrán menor definición que los verdes en una imagen policroma.

Esto se aplica directamente a la señal analógica de vídeo en televisión, donde el porcentaje de verde es de un 59%, mientras que la de rojo es de un 30% y la de azul es de un 11%. La señal de vídeo que llega, por ejemplo, a unos cascos estereoscópicos de Realidad Virtual, procedente del ordenador, suele ser analógica, es decir, codificada de este modo, por lo que la composición lumínica real que nosotros vemos en esa simulación ya está modificada según unos parámetros tecnológicos. Existe pues, desde un primer momento, una falta de realismo, ya que nuestros ojos no codifican la misma proporción de cada color. Debemos intentar averiguar, por tanto, como captan y procesan los conos y bastones la luz que les llega, para poder aclarar esta cuestión.

Tanto los conos como los bastones son células nerviosas especializadas con regiones funcionales similares, que son las siguientes:

- a) Un *segmento exterior*, especializado en la fototransducción y en la captación de luz, porque están densamente poblados con *pigmentos visuales* captadores de luz, los cuales están ligados a una proteína transmembránica. Para acomodar estas membranas los conos y bastones han elaborado un sistema de *discos flotantes*, que se van renovando constantemente. Cada bastón contiene alrededor de 10^8 pigmentos, cada uno de los cuales está orientado dentro de la membrana del disco para maximizar la absorción de los fotones procedentes de un chorro de luz que atraviese el segmento exterior por su eje.
- b) Un *segmento intermedio*, que está localizado más cerca de la retina y que contiene el núcleo de la célula y su maquinaria biológica. El segmento exterior está conectado al segmento intermedio a través de un cilio.
- c) Una *terminación sináptica* donde conecta sinápticamente con las células objetivo de los fotoreceptores.

La fototransducción, o paso de la señal lumínica a señal eléctrica, es producto de una cascada de acontecimientos bioquímicos en el segmento externo de los fotoreceptores (conos y bastones) . Para llevar la información de los discos flotantes, donde la luz es absorbida, a la membrana, hay un mensajero conocido como *monofosfato de guanosina o cGMP*. Los acontecimientos bioquímicos provocan un flujo iónico en la membrana que consigue aumentar el potencial de la misma. El cGMP dirige este flujo iónico en la membrana abriendo unos canales iónicos especializados llamados *canales puerta o dependientes de cGMP* que hacen entrar las cargas positivas dentro de la célula.

Gracias a una serie de experimentos recientes se ha podido demostrar que la fototransducción ocurre en tres etapas: en la primera, la luz activa los pigmentos

visuales; en la segunda, esas moléculas activadas provocan la estimulación de la *cGMP fosfodiesterasa*, una enzima que reduce la concentración del cGMP en el citoplasma; en la tercera, la reducción en la concentración de cGMP cierra los *canales puerta dependientes de cGMP*, hiperpolarizando de este modo el fotorreceptor.

La *rodopsina* es el pigmento visual de los bastones. Se compone de una proteína llamada *opsina*, la cual está encajada dentro de la membrana y no absorbe luz por sí misma, y un pigmento llamado *retineno* (aldehído de vitamina A). El pigmento visual de los conos también está compuesto de dos partes: la *cono-opsina*, que es una proteína, y una molécula *11-cis retinal* que absorbe luz. En ambos casos se produce una absorción de fotones en la parte del retineno, lo que provoca un cambio en la forma y disociación de la parte de opsina, dando lugar a una serie de procesos enzimáticos que modifican el comportamiento del cGMP, con lo que llegamos a la segunda fase. La única diferencia entre conos y bastones es que al haber tres tipos de conos, uno para cada color primario del espectro, hay tres tipos distintos de pigmentos visuales en los conos, o mejor, tres tipos distintos de cono-opsinas, los cuales están diseñados para maximizar la absorción de la luz en las diferentes partes del espectro visible.

La fotoactivación de una sola molécula de rodopsina puede conducir a la hidrólisis de más de 10^5 moléculas de cGMP en 1 segundo. Esta amplificación es llevada a cabo por una proteína llamada *transducina*. Una molécula de rodopsina puede difundirse dentro de la membrana del disco y activar cientos de moléculas de transducina, cada una de las cuales activa a una molécula de fosfodiesterasa. Cada molécula de fosfodiesterasa es capaz de hidrolizar alrededor de 10^3 moléculas de cGMP por segundo. He aquí el inicio de una cascada imparable. Estos cambios provocan variaciones en el potencial de la membrana del fotorreceptor, debido a que la cGMP controla los canales de iones de la membrana plasmática.

En resumen, la absorción de luz provoca una reducción en la concentración citoplasmática de los cGMP que provoca la hiperpolarización de la membrana. En la oscuridad los *canales puerta cGMP* llevan el proceso de despolarización dentro de la célula, para que el cGMP sea resintetizado y vuelva a su nivel de reposo el potencial de la membrana.

Los fotorreceptores, por tanto, responden a la luz mediante variaciones graduales en el potencial de la membrana. Las células ganglionares transmiten la información conseguida a los centros superiores para su posterior procesamiento. Las uniones entre los fotorreceptores y las células ganglionares se producen mediante tres clases de interneuronas: *células bipolares*, *amacrinas* y *horizontales*.

Estas células transmiten las señales necesarias para que se produzca el paso de información entre los fotorreceptores y las células ganglionares. Lo que hacen es combinar la señal de varios fotorreceptores, de modo que las respuestas eléctricas que le

llegan a las células ganglionares dependen exclusivamente del modelo preciso de luz que estimula la retina y de los cambios producidos, en dicho modelo, con el tiempo.

Las células ganglionares están siempre activas, incluso, en la oscuridad y, cada una de ellas, responde a la luz dirigida hacia un área específica de la retina. Esta zona se llama *campo receptivo de la célula* y es esa parte de la retina donde la estimulación de los fotorreceptores atacados con luz, incrementa o hace decrecer el grado de “activación” de las células ganglionares.

Los campos receptivos de las células ganglionares tienen las siguientes características:

- a) Son campos receptivos circulares. En la fovea tienen un diámetro de unos minutos de grado, equivaliendo un grado a unos 0,25mm, mientras que en la periferia de la retina estos campos circulares tienen un diámetro de 3 a 5 grados.
- b) Tienen un centro y un borde contrapuesto.
- c) Las células ganglionares procesan la información mediante dos caminos paralelos. Hay dos clases de células ganglionares según su respuesta cuando se aplica un pequeño punto de luz en el centro de su campo receptivo. Las *células de respuesta “CENTRO-ON”* emiten impulsos tanto si el punto de luz incide en el centro como si el punto de luz incidente en la periferia se apaga, de tal forma que el mejor modo de inhibir este efecto es proporcionar luz a la periferia de este tipo de célula. Las *células de respuesta “CENTRO-OFF”* tienen el efecto contrario, es decir, lo que provoca una salida de impulsos es que se apague el punto de luz proyectado en el centro o que el punto de luz encienda la periferia de este tipo de células ganglionares.

En ambos tipos de células la respuesta que se produce en el centro de la célula cuando incide un punto de luz, es la contraria a la que ocurre en la periferia y, viceversa. Esto provoca que la respuesta a una luz difusa sea más débil.

Estas propiedades sólo cambian cuando la célula se ha adaptado a la oscuridad, después de transcurrir un tiempo de una hora, aproximadamente.

Las células de respuesta on-off se encuentran presentes, más o menos, en igual número, dando lugar a dos *caminos paralelos* en el procesamiento de la información visual, mediante los cuales cada fotorreceptor envía información a ambos tipos de células ganglionares. Sin embargo, no todas las células ganglionares tienen este tipo de organización en torno a un centro-periferia; un ejemplo de células sin esta estructura son las que controlan los reflejos de las pupilas.

Enroth-Cugell y Robson descubrieron que estas dos categorías celulares se pueden subdividir en otros dos subgrupos. Para ello expusieron una parte de la retina a un campo difuso de luz con una onda sinusoidal. Observaron lo que ocurría en una célula centro-“on” cuando la longitud de onda que incide sobre la célula es dos veces el

diámetro de la misma, y vieron que si se iluminaba totalmente había un estallido de impulsos, dado que el centro es más brillante que la periferia en una onda sinusoidal.

Cuando se desplazaba la fuente emisora de luz unos 180° con relación al centro de la célula, hay una respuesta cuando deje de existir la onda luminosa, es decir, cuando el centro resulte más oscuro que la periferia. Pero si se desplaza el emisor de luz 90° en cualquiera de los dos sentidos, provoca que no haya un cambio nítido en la intensidad de luz del centro y de la periferia.

Por tanto, la respuesta de una célula ganglionar viene determinada por las diferencias de intensidad entre el centro y la periferia, por lo que si hay un desplazamiento de 0° y 360° de la fase del emisor con respecto al centro del campo, no habrá respuesta. Se descubrió que había células que se comportaban de este modo, las llamadas *células X*. Sin embargo, había otras células que daban respuesta a cualquier cambio de intensidad de la luz, sea cual sea su fase con respecto al centro del campo de la célula. A estas células las denominamos *células Y*.

Las diferencias entre las células X y las células Y se pueden resumir en las siguientes cuestiones. La primera es que las células X dan una respuesta lineal, es decir, los impulsos que dan son más o menos numerosos, pero siempre igual, dependiendo de la intensidad de luz; las células Y dan una respuesta no lineal, es decir, no pueden predecirse las influencias excitatorias o inhibitorias desde el centro y la periferia. Otra diferencia es que las células X dan una respuesta equilibrada si el emisor de luz está fijo, mientras que las células Y dan siempre un estallido de impulsos primero para equilibrarse después, si la fuente de luz se pone en movimiento. Por otro lado, los centros de los campos de las células Y son mayores que los de las células X, siendo la mayor parte de las células que se encuentran en el centro de la retina de tipo X, mientras que las que están en la periferia, son células Y.

Es, precisamente, esta estructura en forma de centro-periferia, la que mejora la habilidad para detectar contrastes débiles de luz y los cambios rápidos en la imagen visual.

Las células glangionares responden cuando la diferencia de intensidad luminosa entre el centro y la periferia es bastante evidente.

Esto significa que el sistema visual consigue la mayor parte de la información a través del contraste en la imagen.

La cantidad de luz reflejada por un objeto depende de la cantidad de luz que le llega desde un punto emisor. Si doblamos la intensidad de luz que le llega a dicho objeto, doblaremos la cantidad de luz que refleja pero no se altera el contraste entre ellos. Como vemos, la información requerida para detectar objetos es contenida principalmente en las variaciones de la intensidad de luz de la escena.

La apariencia de un objeto también está influenciada por el fondo, además de por el contraste, siendo evidente, por ejemplo, que una figura gris parece mucho más

clara sobre un fondo negro que sobre un fondo blanco. Este punto será ampliamente tratado más adelante, cuando se aborde la percepción según la teoría de la Gestalt.

Este punto clave en la fisiología de la visión, podemos trasladarlo a la creación de mundos virtuales. Como hemos visto, el ojo recibe más información cuantas más variaciones de intensidad de luz haya en la escena. Por tanto podemos controlar, en cierto modo, la cantidad de datos de información visual sobre la imagen, que queremos que le lleguen al ojo en cada momento. Si creamos un espacio en el que la intensidad de luz en la escena sea uniforme, el ojo recibirá menos cantidad de información de dicho espacio, lo cual provoca, a su vez, que el cerebro tenga que procesar menos información. En cambio, si creamos un entorno visual en el que las variaciones en la intensidad de luz sean constantes, el ojo recibirá muchos más datos sobre la escena y esto provocará un procesado mucho más elaborado por parte del cerebro, por lo que la imagen que compongamos debe ser, también más compleja.

Los superordenadores actuales no tienen la suficiente capacidad y velocidad de procesado como para poder crear una realidad tan compleja como la que continuamente nos está llegando a través de los ojos. El conocer estos aspectos de la visión ahorrará mucho trabajo y podrá optimizar la capacidad real de las computadoras actuales. El hecho es que en la realidad, a nuestros ojos le llegan imágenes muy contrastadas, lo que provoca un completísimo proceso de elaboración en el cerebro de esa información visual. El resultado es la realidad que todos conocemos y, sobre todo, percibimos.

Quizás, con los ordenadores, que contamos ahora es totalmente imposible llegar, ni siquiera aproximarnos, a una realidad tan contrastada o con tantas variaciones de intensidad de luz, como la que nos rodea, ya que crear gráficos en tiempo real con una información tan abundante resulta demasiado complejo.

Debemos, pues, saber aprovechar la veracidad en el espacio o en el movimiento, o en la forma, o en el color, etc., según el tipo de aplicación que generemos en un mundo virtual.

Crear en tiempo real, un espacio virtual muy complejo combinado con un movimiento interno también complejo, es una tarea bastante complicada para la capacidad de las estaciones de trabajo actuales. Sin embargo, si decidimos que lo importante en la aplicación es el movimiento, podemos centrar nuestros esfuerzos y el de las máquinas en generar un movimiento más verídico y crear un espacio o imagen menos “real” mediante la ausencia de contraste o de variaciones en la intensidad de la luz de la misma. Esta es una gran forma de rentabilizar al máximo la capacidad de los ordenadores con la aplicación específica de realidad virtual en la que estemos trabajando. Lo ideal, no obstante, es que las máquinas pudieran generar, en tiempo real, unos gráficos muy contrastados y de mucha resolución, con un movimiento de la imagen y de los objetos bastante elaborado, pero, como comprobamos cada vez que nos sumergimos en un espacio virtual, el realismo de las imágenes artificiales que

contemplamos dista mucho de lo que vemos mediante la simple observación de nuestro entorno real.

La transcendencia de esta teoría adquiere una mayor relevancia cuando descubrimos que el cerebro procesa la información visual por medio de caminos visuales distintos para cada factor. Si logramos conocer y llegar a controlar un gran número de estos caminos, podemos llegar a una gran simulación de realidades artificiales que deseemos crear, ya que habremos podido engañar hasta el propio cerebro. Pero el tema del procesamiento visual mediante caminos paralelos por parte del cerebro, es un tema que analizaremos un poco más adelante.

No obstante, la importancia del contraste o de las variaciones en la intensidad de la luz, queda aquí puesta de manifiesto como un aspecto importante a la hora de crear espacios virtuales.

Sigamos, pues, con el proceso de adquisición de datos por parte del ojo.

Hemos visto que el contraste se detecta en las células ganglionares, las cuales se encuentran en la retina. Las señales de los fotorreceptores podrían ser enviadas directamente a los centros superiores de procesamiento sin pasar por las células ganglionares; entonces, ¿cuál es el motivo de que la detección del contraste comience en la retina?. El motivo es que si dos fotorreceptores son iluminados por intensidades de luz ligeramente diferentes, de tal modo que sus respuestas fueran también ligeramente diferentes, los errores en la transmisión a los centros superiores pueden evitar que estos noten la diferencia. Lo que hace la retina, por medio de las células ganglionares, es medir la diferencia entre las dos intensidades de luz ligeramente diferentes y transmitir una señal proporcional a esta diferencia. El grado de activación de una célula ganglionar proporciona una medida en la diferencia de las intensidades de luz que iluminan el centro y la periferia, siendo esta medida lo que se transmite a los centros superiores.

Con esta característica de las células ganglionares se ha descubierto que las células de centro-“on” están especializadas en los incrementos bruscos de luz, mientras que las células de centro-“off” basan su especialización en los decrementos de luz.

El sistema visual debe analizar también otros aspectos como la forma, color y movimiento. En la corteza visual se procesan estos rasgos mediante caminos paralelos. Este proceso comienza en la retina con redes paralelas de células ganglionares. Cada región de la retina tiene distintos subgrupos de células ganglionares que sirven en paralelo al mismo fotorreceptor. La mayoría de las células ganglionares de la retina se dividen en dos clases, cada una de ellas con células centro-on y con células de centro-off. Estas células son las *M* y las *P*.

Las células *M* tienen grandes cuerpos celulares y una gran ramificación de dendritas, lo cual hacen que abarquen grandes campos receptivos y respondan mejor a iluminaciones constantes y grandes objetos. Parece ser que analizan las características más rudas de un estímulo y su movimiento.

Las células P tienen cuerpos celulares y campos dendríticos pequeños, por lo que son más numerosas. Abarcan zonas visuales más pequeñas, seleccionando mejor la longitud de onda, lo cual les hace involucrarse en la visión del color. Se piensa que están implicadas en el análisis de los detalles finos de la visión.

De todos modos, las funciones de estos dos tipos de células son bastantes desconocidas por el momento.

Las células bipolares, horizontales y amacrinas, son las interneuronas que transmiten la señal desde los fotorreceptores hasta las células ganglionares. No obstante, son las células bipolares las que representan el paso más directo de información entre fotorreceptores y células ganglionares.

La información visual es transferida desde los conos hasta las células ganglionares por medio de dos caminos visuales en la retina.

El primero es denominado *camino vertical o directo*. Los conos dentro del centro de un campo receptivo de una célula ganglionar hacen contacto sináptico directo con las células bipolares que directamente entran en contacto con las células ganglionares.

El segundo es denominado *camino lateral*. Las señales procedentes de los conos situados en la periferia del campo receptivo de las células ganglionares son transportadas a las células ganglionares por medio de las células horizontales y amacrinas. Las células horizontales transfieren la información procedentes de los conos distantes a las células bipolares más próximas. Algunos tipos de células amacrinas transfieren la información procedente de las células bipolares distantes a las células ganglionares.

Los cuerpos celulares de las neuronas retinales están organizados en tres *capas nucleares*: la *capa nuclear externa*, que contiene los fotorreceptores; la *capa nuclear intermedia*, que contiene las células bipolares, horizontales y amacrinas; y la *capa de las células ganglionares*. Estas células están agrupadas de dos capas plexiformes donde ocurren la mayoría de los contactos sinápticos. La *capa plexiforme intermedia* contiene los procesos de las células bipolares, amacrinas y ganglionares. Como podemos apreciar las células bipolares están en ambas capas y procesos.

Al igual que ocurre en los fotorreceptores, las células bipolares y horizontales responden a la luz con cambios graduales en el potencial de la membrana. Debido a que estas pequeñas células tienen un procesamiento corto, las señales son transmitidas a su terminal sináptica, es decir, el lugar de contacto entre estas células y sus neuronas, sin casi pérdidas de información. En cambio, los axones de las células ganglionares están a una distancia considerable de sus objetivos en el cerebro, por lo que transfieren su información por medio de trenes de potenciales de acción.

Las células bipolares tienen campos receptivos organizados en centro-on y centro-off.

Cuando la luz estimula los conos en el centro de su campo receptivo, las células bipolares de centro-on se despolarizan, mientras que las células bipolares de centro-off se hiperpolarizan. Pero, ¿en qué consiste este proceso de despolarización e hiperpolarización?

La membrana de la célula en estado normal está polarizada, es decir, tienen carga positiva en la parte externa de la membrana y carga negativa en el interior de la misma. Se habla de despolarización cuando la membrana de la célula cambia su estado normal al recibir un estímulo que desata un proceso de cambio de polaridad en la membrana, o sea, las cargas positivas pasan dentro y las cargas negativas pasan fuera, de una forma puntual y provocando, evidentemente, que se haga positiva la carga de la membrana. Este proceso se va propagando como las fichas de un dominó, es decir, ocurre en una carga para pasar a la siguiente, mientras que la anterior vuelve a su estado normal. A esto se le llama *potencial de acción*.

En resumen, se habla de despolarización cuando aumenta el número de cargas positivas del interior de la célula, haciendo su potencial menos negativo, mientras que cuando se hace más negativo el potencial de la membrana se habla de hiperpolarización.

En todos los casos, la despolarización y la hiperpolarización son un medio que tiene la célula para trabajar con la información que le ha llegado procedente de un estímulo, y así desencadenar el proceso que, en el caso del ojo, lleva los datos al cerebro.

Más concretamente, las entradas de los conos en la periferia de las células bipolares son transmitidas por células horizontales, las cuales pueden responder a entradas de fuentes distantes porque tienen grandes árboles dentríticos y están conectadas eléctricamente a otras células horizontales por medio de uniones tipo “gap”, que consiste en que las dos partes están unidas pero no se tocan sino que la interacción se produce por variaciones en la diferencia de potencial entre ambos. Cuando la luz estimula a los conos en la periferia de una célula bipolar, produce la respuesta opuesta a la que se produce por la iluminación de los conos en el centro de una célula bipolar.

Cada clase de célula bipolar tiene conexiones excitatorias con células ganglionares de la misma clase. Cuando las células bipolares de centro-on son despolarizadas por la luz, ellas despolarizan las células ganglionares de centro-on, las cuales tienen un mayor potencial de acción.

Los caminos que conectan los conos con las células ganglionares están usados para la visión en un día de luz normal. A niveles de luz más bajos se transmite por los bastones. Cuando el ojo está adaptado a la oscuridad, las señales de los conos se transmiten directamente a las células ganglionares a través de los propios conos. Las señales de los bastones pueden ser transmitidas directamente a los conos vecinos vía uniones tipo “gap” que conectan estas células.

Durante prolongadas exposiciones a la oscuridad, la sensibilidad de las células ganglionares incrementa espectacularmente hasta que las células pueden detectar los efectos de los fotones absorbidos por los bastones en el centro de su campo receptivo. Un factor que contribuye a este extremo es que las células ganglionares no están inhibidas para la iluminación de su periferia cuando el ojo está totalmente adaptado a la oscuridad. Bajo estas condiciones las células ganglionares dejan de ser detectores de contraste y se convierten en efectivos detectores de luz. Este cambio en las propiedades del campo receptivo se cree que es resultado de un cambio en el camino que lleva la señal de los bastones a las células ganglionares. Durante esta adaptación las uniones “gap” que conectan los conos y los bastones se cierran, evitando que las señales de los bastones sean transferidas a través de los conos.

Pero esta información ha de ser transferida a las células ganglionares, y para ello existen las *células bipolares de los bastones*, un especializado conjunto de células bipolares de centro-on que reciben entradas sinápticas directas desde los bastones. Estas células bipolares de los bastones no tienen un contacto sináptico directo con las células ganglionares de centro-off e indirectamente con células ganglionares de centro-on a través de las *células bipolares de los conos*.

Para finalizar este punto, nos centraremos en el tipo de conexiones existentes entre este tipo de células. Los fotoreceptores se unen unos a otros por medio de uniones “gap”. Sin embargo, no es éste el único tipo de conexiones. En la retina podemos encontrar sinápsis eléctricas, principalmente entre neuronas, y sinápsis químicas, que es el tipo de unión predominante en el cerebro. Dentro de la sinápsis química hay dos tipos de sinápsis: la *sinápsis en cinta* y la *sinápsis basal*.

La conclusión final a la que podemos llegar es que procesar la información por medio de caminos paralelos es una constante en todo el sistema visual. De este modo, se abarcan los niveles de información, provocando la casi imposible pérdida de datos, ya que si un camino es dañado no se pierde el total del conjunto de la visión. No hay que olvidar que por medio de ojo recibimos la mayor parte de la información para podernos relacionar con nuestro entorno.

El sistema visual es, por tanto, el más complejo de todas las partes que componen el sistema sensorial. Un ejemplo en el que se deduce fácilmente esta importancia, es el hecho de que el nervio auditivo tiene 30.000 fibras, mientras que el nervio óptico tiene 1.000.000 de fibras, por lo que podemos presuponer una mayor complejidad en el proceso visual de la información.

La retina es el primer gran filtro de la luz que es transformada en señal eléctrica. De esta forma ya hemos elaborado la materia prima para su total procesamiento en el cerebro.

La retina es el punto de referencia sobre el cual giran las divisiones en cuanto a las regiones del campo visual. El campo visual se define como lo que ven los ojos sin movimientos de cabeza.

Las regiones de la retina y, por tanto, del campo visual, son la *hemiretina nasal*, que está en mitad de la fovea y se divide en cuadrante dorsal y cuadrante ventral; y la *hemiretina temporal* que se encuentra a los lados de la fovea y se divide en cuadrante dorsal y cuadrante ventral.

El campo visual se divide en dos hemicampos, el izquierdo y el derecho. Esto se comprueba fijando la vista en un punto.

El hemicampo visual izquierdo proyecta de la siguiente forma:

- Ojo izquierdo en la hemiretina nasal
- Ojo derecho en la hemiretina temporal

El hemicampo visual derecho, a su vez, proyecta del modo siguiente:

- Ojo izquierdo en la hemiretina temporal
- Ojo derecho en la hemiretina nasal

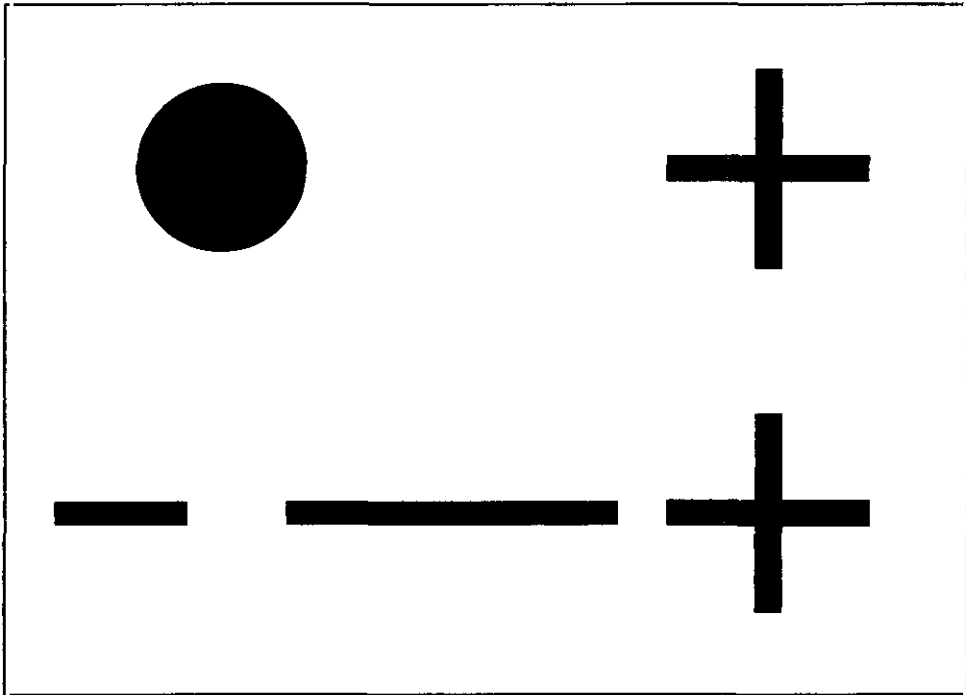
Concretando un poco más, definiremos la *zona binocular* como la región central del campo visual, situada entre ambos ojos, donde la luz se orienta o incide, y la *zona monocular* es la porción del campo visual donde la luz es proyectada sólo en la hemiretina nasal del ojo del mismo lado porque la nariz bloquea la señal lumínica para que llegue al ojo del lado opuesto.

Por último definir el *disco óptico* como la región de la retina desde la cual salen las células ganglionares; el cual no contiene fotorreceptores y es insensible a la luz. Las células ganglionares son células cuyas expansiones nerviosas o cilindros forman por su reunión con otras semejantes el nervio óptico.

El disco óptico está en medio de la fovea de ambos ojos. La luz que viene de un único punto en la zona binocular nunca entra a los dos discos ópticos, así que nosotros no somos conscientes normalmente de la existencia de un punto ciego.

Es importante tener en cuenta la correspondencia entre las regiones del campo visual y su correspondiente imagen retinal. Esta correlación se basa sobre todo en dos puntos. El primero es que las lentes de cada ojo invierten la imagen visual sobre la retina, es decir, la mitad superior del campo visual es proyectada en la mitad inferior o ventral de la retina, y la mitad inferior del campo visual es proyectada en la mitad superior o dorsal de la retina. El hecho de que veamos el mundo en su correcta orientación es debido a que los niveles superiores del cerebro ajustan la inversión que se produce en la retina. Como vemos este es el mismo proceso que sucede en las cámaras de fotos. De hecho, las cámaras de fotos y, previamente, las cajas oscuras se basan en este aspecto de la visión como principio fundamental de funcionamiento. El hombre siempre ha querido atrapar la luz inventando artilugios para ello, y siempre se ha basado en el funcionamiento del ojo humano. Esta ausencia de interacción entre la fisiología del

ojo y la informática es, posiblemente, lo que más falla en la Realidad Virtual ya que se ha dejado de lado este tema para dirigir todos los esfuerzos hacia el estudio de la velocidad de procesamiento de datos. Se debería tener en cuenta ambas cosas, pero si averiguamos como el cerebro procesa la información visual la velocidad de procesamiento del ordenador se aprovecharía de una forma totalmente adecuada a las necesidades reales de nuestra percepción.



***Figura.-** El punto ciego del ojo izquierdo se encuentra cerrando el ojo derecho y fijándose en la parte superior con el ojo izquierdo. Si se sostiene el libro a una distancia de unos 40 cm del ojo y se va acercando hacia el ojo, el círculo desaparece a consecuencia de que hemos entrado en la zona del punto ciego: si se hace el mismo proceso mirando las líneas de abajo, se descubrirá el punto ciego cuando se vea una línea continua.*

Hay que tener en cuenta que el disco óptico, la región de la retina desde la cual salen los axones de las células ganglionares, no tiene ningún fotorreceptor siendo insensible a la luz.

El segundo punto establece que la porción binocular de cada hemicampo visual proyecta a diferentes regiones de las dos retinas. Por ejemplo, un punto de luz en la mitad binocular del hemicampo visual derecho incide sobre la hemiretina temporal del ojo izquierdo y la hemiretina nasal del ojo derecho.

La luz llega, por tanto, a la retina y se transforma en una señal distinta con la que pueden trabajar las neuronas. Esta señal, que suele ser eléctrica, contiene información acerca de la estructura espacio-temporal de la superficie, objetos y sucesos del entorno en el que nos movemos. Pero esta información tiene que ser todavía bastante tratada por el sistema nervioso y por el cerebro.

El primer paso es ver cuáles son las vías por las que llega al cerebro esa información.

El punto donde hemos dejado la información retinal es en los axones de las células ganglionares de la retina, los cuales inician el camino hacia el disco óptico, donde se juntan y forman el nervio óptico. Allí, las fibras de cada ojo se destinan para uno u otro lado del cerebro donde son repartidas o proyectadas a tres objetivos subcorticales.

La primera de las tres metas recibe la señal directamente de la retina.

La segunda de las metas es la que llega al *núcleo geniculado lateral*, que procesa la información visual producto de la percepción debido, en gran parte, a que es el lugar donde terminan la mayoría de los axones retinianos. Las células en el núcleo geniculado lateral tienen campos receptivos concéntricos, los cuales giran en torno a un minuto de grado, y que les permite medir la intensidad de la luz en el centro de su campo receptivo en relación con lo que le rodea. En lo demás estas células son iguales a las otras estudiadas; su función equivale a la de un centro de retransmisiones de la información visual hacia el córtex visual.

La información producto de la percepción visual llega al núcleo geniculado lateral procedente de los axones de la retina que se proyectan a través del quiasma óptico, donde las fibras de la mitad nasal de cada retina cruzan al lado opuesto del cerebro. Los axones procedentes de las células ganglionares en la hemiretina temporal no cruzan. De este modo, la región óptica izquierda contiene los axones de la mitad derecha de cada retina -la hemiretina temporal los del ojo izquierdo y la hemiretina nasal los del ojo derecho. Es decir, la región óptica izquierda contiene axones de la mitad derecha de cada retina. Las fibras de la mitad derecha de cada retina proyectan en la región óptica derecha al núcleo geniculado lateral derecho.

La fovea, zona de la retina con una mayor acuidad o definición, tiene la más grande densidad de células ganglionares, contando con una mayor representatividad, proporcionalmente, que la periferia de la retina. La explicación para esta desproporcionada interiorización puede encontrarse en la forma del ojo, la cual es un

globo diseñado para rotar en su cuenca. Debido a esto, la retina no puede tener más zona en el centro que en la periferia. Para compensar este fallo geométrico, las células ganglionares internas de la retina y cerca de la fovea están densamente empaquetadas. Esta limitación física no existe dentro de la retina, por lo que las neuronas en el núcleo geniculado lateral y en la corteza visual primaria están distribuidas de una manera bastante equilibrada. De este modo, un mayor número de conexiones neuronales en la fovea están distribuidas sobre un área mayor.

La proporción de la zona en el núcleo geniculado lateral (o en la corteza visual primaria) con respecto a la zona en la retina representa un grado del campo visual y se llama *factor de magnificación*.

El núcleo geniculado lateral de los primates contiene seis capas de cuerpos celulares separadas por capas internas de axones y dendritas. Las dos capas más ventrales se conocen como *capas magnocelulares* y las cuatro capas más ventrales se conocen como *capas parvocelulares*.

La tercera y última de las metas de las fibras de cada ojo es la que llega al cerebro medio (región pretectal y edículo superior).

El *área pretectal* se encarga de controlar los reflejos pupilares, mientras que el *colículo superior* controla los movimientos de los ojos.

Cuando la luz incide sobre un ojo se produce una contracción de la pupila del ojo (respuesta directa) y una respuesta consensuada en el otro ojo. La luz reflejada en las pupilas está mediatizada por las neuronas del ganglio retinal que responden a los cambios de brillo y proyectan a la zona pretectal. Las células en esa zona proyectan bilateralmente a las neuronas del sistema parasimpático preganglionico en el núcleo Edinger-Westphal, que está inmediatamente al lado del núcleo oculomotor. Este sistema oculomotor envía axones fuera del cerebro, exactamente al ganglio ciliar, el cual contiene las neurona postgangliónicas que hace que se mueva el músculo del ojo.

Por tanto, es en el cerebro medio donde se encuentra todo el sistema oculomotor.

El edículo superior, por otro lado, coordina tanto la información visual somática como la información auditiva, ajustando los movimientos de la cabeza y ojos hacia un estímulo.

Distribuidos dentro de las 7 capas del edículo hay tres mapas sensoriales:

- Mapa visual
- Mapa de la superficie del cuerpo
- Mapa para el sonido en el espacio

Las capas superficiales reciben la información de:

- la retina
- la corteza visual

Las capas más profundas reciben la información de:

- sistema sensorial somático
- sistema auditivo
- capas más superficiales

Los diversos mapas sensoriales están alineados espacialmente unos con otros. Por ejemplo, en el mapa de la superficie visual las neuronas que reciben información procedente del campo visual temporal contralateral están situadas por encima del mapa auditivo más profundo que recibe información de la misma región contralateral del espacio auditivo.

Los tres mapas sensoriales están conectados a un mapa motor localizado en las capas más profundas del colículo superior. Como resultado de esto, el colículo puede usar la información sensorial para controlar los *espasmos* o movimientos del ojo para orientarlo hacia el estímulo. Esta función la realiza el colículo superior junto a una región de la corteza central llamada los *campos frontales del ojo*.

Peter Schiller y sus colegas encontraron que el colículo recibe información sobre tres tipos de estímulo: los concernientes a un movimiento en el campo visual, los concernientes a la atención visual y aquellos que se refieren a identificar las líneas externas de un objeto.

En contraste, los campos del ojo frontal de la corteza reciben información de la corteza visual primaria sobre la discriminación visual fina y la generación de los *movimientos espasmódicos del ojo para un estímulo visual complejo*.

El colículo superior proyecta la información visual que le llega a la región del cerebro que controla los movimientos de los ojos.

Hay, por tanto, dos caminos o vías principales de visión en el cerebro. Una vía es la que se dirige al núcleo geniculado lateral y se encarga de la experiencia consciente de la visión, es decir, el procesamiento de la información procedente de los sentidos, mientras que la segunda vía, que va hacia el cerebro medio, se encarga de la experiencia inconsciente de la visión, es decir, de los movimientos de los ojos y reflejos pupilares principalmente.

No obstante, ambas son dependientes una de otra ya que nosotros procesamos la información y dirigimos nuestra mirada según los resultados de esa percepción. En algún punto ambos caminos se cruzan el uno con el otro.

La *corteza visual primaria (VI)* es el punto donde cambian significativamente las propiedades del campo receptivo. Como ocurre en el núcleo geniculado lateral y en el colículo superior, la corteza visual primaria de cada hemisferio del cerebro recibe información exclusivamente de la mitad contralateral (es decir, del lado contrario) del campo visual. No obstante, la estructura de la corteza visual es mucho más compleja que la del núcleo geniculado lateral.

La corteza visual humana tiene alrededor de 2mm de espesor y la componen seis

capas celulares, aunque tiene dos clases básicas de células:

- *células piramidales*: son grandes y tienen largas dendritas retorcidas; son neuronas de proyección cuyos axones proyectan a otras regiones del cerebro.

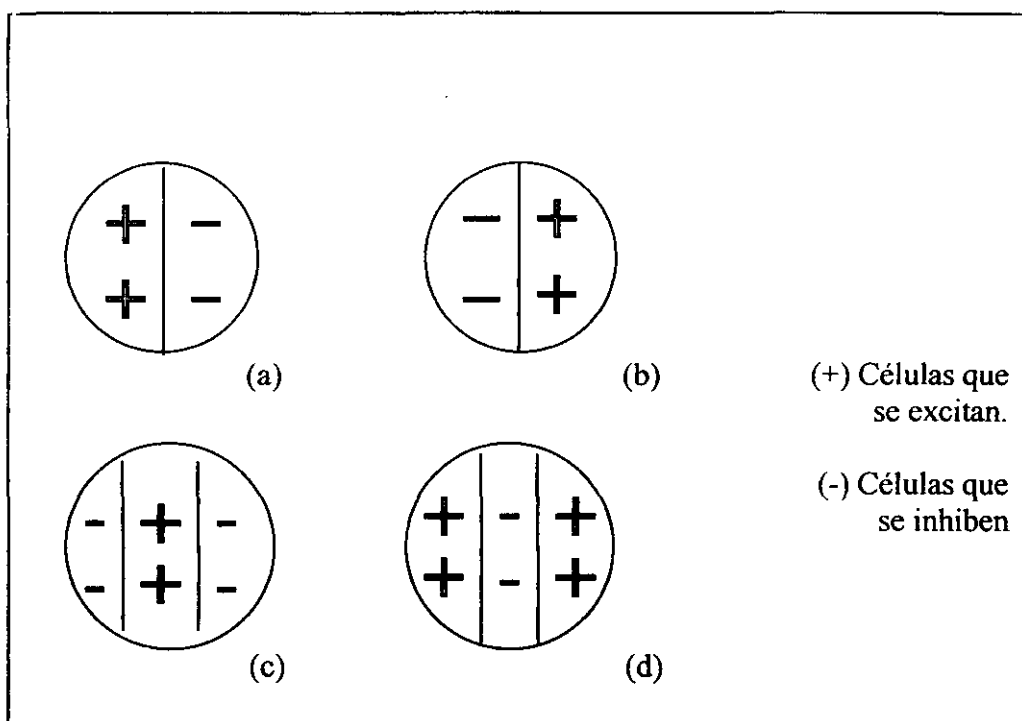
- *células no piramidales*: son pequeñas y de dos tipos. Las "células retorcidas" que junto a las piramidales son las que se excitan usando glutamatos para la transmisión; y las células lisas que son las que se inhiben y contienen ácido alfa-aminobutírico (GABA).

La información fluye del núcleo geniculado lateral a la corteza visual primaria, para ir pasando sistemáticamente de una capa cortical a otra, comenzando en las células retorcidas, que predominan en la capa 4.

Hubel, Weisel y sus colegas descubrieron que las células situadas por encima y por debajo de la capa 4 responden sólo a estímulos que son sustancialmente más complejos que aquellos que excitan a las células de la retina o del núcleo geniculado lateral. Lo más sorprendente es que los pequeños puntos de luz (que eran tan efectivos en la retina, en el núcleo geniculado lateral y en la capa interna de la corteza 4C) son completamente inoperantes en todas las capas del córtex visual excepto en las *regiones blod* de las capas superficiales. Los blod son zonas oscuras que representan áreas con mucha actividad enzimática. Las células en todas las regiones, excepto los blod, no tienen campos receptivos circulares, sino que sólo responden a estímulos que tienen propiedades lineales, tales como una línea o una barra ya que, como hemos dicho, no tienen campos receptivos circulares. Hubel y Weysel dividieron estas células en dos grupos –*simples y complejas*– según su respuesta a los estímulos lineales.

Si observamos el gráfico que se encuentra en la siguiente página, podremos apreciar que el campo receptivo tiene una zona de excitación de forma rectangular y bastante estrecha en el centro, la cual está flanqueada por dos zonas de inhibición simétricas.

El estímulo más efectivo es el que coincida con los límites de las subdivisiones del campo receptivo. Si nos fijamos en las células del gráfico, un estímulo con una orientación perpendicular u oblicua a la orientación del campo receptivo será inefectivo. Sin embargo, hay células cuyo campo receptivo tiene una orientación perpendicular u oblicua respecto a las células del gráfico. Esto significa que cada eje de rotación en el espacio (x,y,z) tiene su respuesta en un campo receptivo adecuado a su orientación.



Por tanto, este es un primer paso para comprender el hecho de la percepción de las tres dimensiones. Es en esta primera etapa donde ya se produce una división o clasificación en la orientación en los tres ejes de la señal que le llega al cerebro. A partir de aquí la señal que llega a las células con un campo receptivo del eje x seguirá un camino distinto al de los otros dos ejes. Lo mismo ocurre con el eje de coordenadas y, z.

Hubel y Weisel sugirieron que un campo receptivo rectangular puede ser construido por muchos campos circulares con las conexiones apropiadas de las células contenidas en la capa 4C de la corteza visual primaria, ya que son células que reciben directamente la información del núcleo geniculado lateral por lo que la cantidad de datos efectivos que poseen de la imagen visual es muy extensa.

Los campos receptivos de las células complejas son normalmente mayores que los de las células simples. Estos campos tienen también un eje de orientación crítico, pero la posición precisa del estímulo dentro del campo receptivo es menos crucial debido a que no están tan claramente definidas las zonas on-off, lo cual significa que el campo de una célula compleja no puede limitarse en razón a zonas excitatorias y zonas inhibitorias, mediante la utilización de puntos de luz, por lo que no hay ninguna región donde la luz tenga que incidir para provocar una respuesta. Como consecuencia el movimiento de un objeto es un estímulo particularmente efectivo de procesar para ciertas células complejas, mientras que otro tipo de células complejas no lo pueden procesar. La conclusión es que las células complejas no tienen linealidad en sus respuestas.

Entonces, ¿cuál es la importancia real de las células simples y complejas?. La visión nos proporciona la habilidad transcendental de reconocer objetos. Nuestra percepción permanece constante a pesar de que las condiciones de luz que refleja el objeto y llega a nuestros ojos varíe. Por ejemplo, somos capaces de reconocer a una persona o una escultura a pesar de que varíe la distancia, el ángulo o la iluminación bajo las cuales se nos presenta. Estas variaciones se aprecian en la retina pero nuestra percepción del objeto permanece constante.

Más adelante abordaremos el tema de las constancias perceptuales, pero ahora nos interesa la teoría de que los objetos se reconocen gracias a un conjunto de rasgos geométricos simples, tales como líneas, ángulos, círculos, cuadrados, etc. que permanecen invariables a pesar de los cambios circunstanciales del objeto.

Las células simples y complejas se encargan de esta función descomponiendo los bordes de una imagen visual en segmentos de líneas cortas de varias orientaciones.

Una importante conclusión para poder valorar en su justa medida la funcionalidad de las células simples y complejas radica en que son claves para poder analizar la forma de la imagen visual - sus límites y contornos- en términos de segmentos lineales o rasgos geométricos simples.

La interacción entre células simples y complejas es importante para la percepción de la forma, independientemente de la distancia al objeto, del movimiento de los ojos, ...

Situemos un cuadrado oscuro sobre un fondo iluminado delante de nosotros. Una línea vertical del cuadrado excita una masa de células simples y otra masa de células complejas, cada una con el mismo eje vertical de orientación. Si ahora mueves tu ojo o el cuadrado se mueve dentro del fondo, una nueva masa de células simples será excitada, ya que estas células son sensibles a la posición exacta de la línea en el campo receptivo. Sin embargo, si el movimiento es pequeño la misma masa de células complejas será excitada, ya que estas células tienen campos receptivos extensos sin regiones de excitación claramente definidas y responden al movimiento dentro del campo receptivo.

Esta respuesta a la orientación sobre un rango de posiciones parece querer representar un mecanismo elemental psicofísico para la *constancia posicional*, es decir, la habilidad para reconocer los mismos elementos en todas las partes del campo visual. Aquí es donde se conjuga el hecho de que el análisis perceptivo, básico a la hora de crear espacios virtuales que simulen la realidad, debe conjugar tanto los aspectos biológicos del ojo y cerebro como los aspectos psicológicos. Además, la importancia del concepto constancia posicional es evidente pues es uno de los factores que lleva al cerebro a reconocer siempre el mismo objeto como tal dentro de un mismo campo visual o desde distintos campos visuales. Una célula simple al descomponer el objeto en

rasgos simples le da una información al cerebro que, unida a las constantes perceptuales, le indica que se trata de un objeto previamente reconocido si coincide los rasgos con los que ya tiene asimilados.

Las células del sistema visual prestan mucha más atención a los bordes de un objeto que a su interior. Esta es una premisa bastante contrastada. En el caso del cuadro sobre un fondo iluminado que propusimos anteriormente, el interior del cuadrado y el fondo son totalmente ignorados por este tipo de células. Esto se debe a que la información que proporcionan es monótona, es decir, igual en todos los puntos. Si aplicamos esto a la construcción de un determinado ciberespacio virtual los resultados serían un ciberespacio de objetos con unos contornos bien definidos pero con poca información en su interior, es decir, objetos totalmente planos. La percepción de este mundo virtual resultaría bastante simple lo que acrecentaría el grado de sensación de realidad, además de suponer una aceleración en la creación de gráficos en tiempo real. Este principio se podría llevar a cabo en algún tipo de aplicación de la realidad virtual, ya que no siempre lo que se necesitan son gráficos con un alto grado de definición, si no lo que se pretende es un alto grado de inmersión. La realidad virtual para la arquitectura podría perfectamente basarse en este punto, ya que al cliente le interesa más la sensación de espacio y realismo del edificio, que si las paredes tienen el papel con un determinado color o textura.

Hubel y Weisel propusieron que las acciones convergentes de las células en la corteza visual primaria son los pasos iniciales en la percepción. Esto sugiere que cada célula compleja soporta la actividad de un grupo de células simples. Las células simples soportan la actividad de un grupo de células geniculadas, las que a su vez soportan la actividad de un grupo de células ganglionares retinales. Las células glangionales soportan la actividad de las células bipolares que soportan un grupo de receptores.

Por supuesto, cada grupo de células está interconectado con el nivel jerárquico inmediatamente superior.

La capacidad de abstracción de cada célula viene determinada por el nivel en el que se encuentre dicha célula, siendo menos complejo cuánto más abajo esté en el camino. Por tanto, la capacidad de abstracción de una célula compleja es mucho mayor que la de un receptor.

Según estos autores, a medida que vamos subiendo en el camino visual, se va incrementando el nivel de abstracción visual. En los niveles más bajos del sistema, es decir, el nivel de los glangios retinales y las células geniculadas, las neuronas responden primero al contraste. Esta información elemental es remodelada por las células simples y complejas de la corteza en "campos rectangulares", aspecto éste previamente estudiado, con segmentos de líneas y contornos relativamente precisos. De este modo, los requerimientos de estímulo necesarios para activar una célula llegan a ser cada vez más precisos según vamos subiendo de nivel en este camino visual.

En la retina y geniculado lateral la posición del estímulo es lo importante.

En las células simples es importante la posición y el eje de orientación.

En las células complejas, cuyos campos receptivos son mayores, es importante el eje de orientación, pero estas células tienen la habilidad para detectar la orientación sobre un rango mayor de posiciones.

Las células simples y las células complejas reciben información de dos caminos visuales del núcleo geniculado lateral: el camino magno celular y el camino parvocelular.

La información que reciben del camino magno celular se refiere al movimiento y a los bordes toscos del estímulo. La información que reciben del camino parvocelular se refiere al color, textura y modelo.

Según David Marr estos dos caminos contribuyen a una aproximación bidimensional de la forma y contorno del estímulo.

Barlow es otro científico que ha sugerido la importancia de esta teoría, reafirmando con sus investigaciones el hecho de que las células simples de la vía visual actúan como detectores de rasgos. Barlow también deja clara su teoría de que existen células en el sistema nervioso humano que responden tan sólo a clases de estímulos altamente abstractos. Por consiguiente, si unimos las teorías de Barlow con la de Hubel y Weisel, y las aplicamos al potencial de creación de estímulos de la realidad virtual, comprobaremos que, por ejemplo, sería conveniente no atacar o excitar a las células con un mayor grado de abstracción, ya que, el hacerlo supone una mayor complejidad en la percepción debido a que los gráficos deberían ser demasiado complicados, lo cual hace muy difícil la generación de imágenes en tiempo real.

Como conclusión a estas teorías se puede deducir que la información visual que nos llega a través de estímulos atraviesa un llamado "camino visual", que es una forma de procesar la información desde un nivel muy simple hasta la complejidad más absoluta. En cierto modo la generación de gráficos es similar: pasamos del contorno a la textura como último paso en el modelado de un objeto. Si fuéramos capaces de crear gráficos lo suficientemente simples como para que nuestro cerebro lo pudiera procesar como independiente del entorno y reconocerlo como tal, pero, a la vez, lo suficientemente complejos como para dar la sensación de realismo, habríamos llegado a conseguir nuestro objetivo, que es el de adecuar la capacidad o rendimiento tecnológico que poseemos en estos momentos a la propia percepción del ser humano.

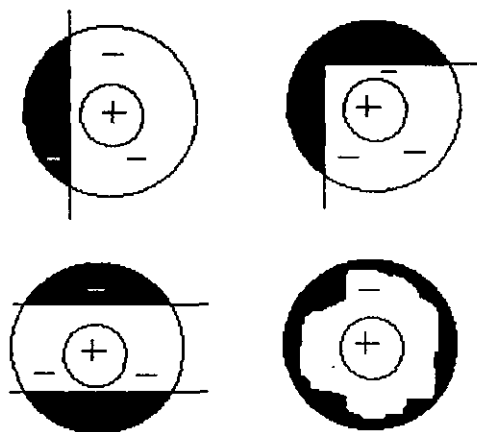
Esto se podría conseguir haciendo gráficos con unos bordes muy definidos y una textura lo más simple posible, siguiendo los parámetros de la percepción visual. El resultado sería que la textura de cada objeto no esté sujeta sólo a como nosotros lo vemos en la realidad -no hay que hacer una representación exacta de la realidad- si no crear un tipo de textura simple para cada objeto, pero capaz de ser reconocible como real por nuestro cerebro.

Esto nos llevaría a hacer un estudio notable de texturas para cada aplicación de realidad virtual, pero supondría un gran ahorro perceptivo y de generación de imágenes en tiempo real, lo que resultaría en una mayor velocidad de creación de imágenes. Esta forma de crear imágenes no necesitaría de realismo llegando, incluso, a un mayor grado de asimilación de realidad artificial por parte del usuario.

Con todo esto deberíamos estar muy satisfechos por los resultados conseguidos. Pero esto no es así. Estudios posteriores han demostrado que estas teorías no son factibles en un cien por cien, ya que se plantean problemas como el de la ambigüedad en la detección de rasgos.

Fester y Lindstrom en 1983 mostraron, mediante registros intracelulares de las células corticales, que el patrón no es tan simple, y que las células del núcleo geniculado lateral conectan directamente tanto con las células simples como con las complejas, por lo que la estructura jerárquica se rompe en ese punto. Como hicimos notar anteriormente las células simples reciben sólo conexiones del núcleo geniculado lateral, mientras que, según Fester y Lindstrom, las células complejas tienen además entradas desde otras células.

Otro problema a la teoría de detección de rasgos es que si, realmente, cada neurona es detectora de rasgos geométricos. Si tenemos una célula de centro "on" y un borde roza el centro de su campo de su campo receptivo, la célula responderá a medida que la iluminación de la periferia respecto al centro vaya decreciendo. Pero si la célula es un "detector de bordes" sólo debe responder a bordes rectos y no a cualquier otro patrón, cosa que no ocurre con las células ganglionares de la retina o del núcleo geniculado lateral, puesto que, estas últimas, tienen un número indefinido de patrones. La respuesta de una célula de centro "on" a una barra que estimule una parte o toda la periferia es la misma en ambos casos, ya que no estimula el centro y, por tanto, la variación de intensidad de luz entre la periferia y el centro es la misma en todos los casos. Para que diera respuestas diferentes, esa barra debería estimular o atacar al centro de dicha célula. Lo mismo ocurre en el caso de que dicha barra tuviera una inclinación u otra respecto al centro de la célula. Mientras que las distintas orientaciones no ataquen al centro "on", la respuesta será siempre la misma.



Esa ambigüedad en las respuestas de las neuronas de centro "on" y de centro "off" supone un serio obstáculo para la teoría de la detección de rasgos de Hubel y Weisel, porque implica el que las células no señalan de forma fidedigna la presencia de unos rasgos geométricos particulares en la imagen retiniana.

Como las células de centro "on" y "off" están en la base de la organización jerárquica del camino visual ya que corresponden a la retina, se podría pensar que esta jerarquía se rompe totalmente. Sin embargo, si se sabe que el cerebro está organizado para llevar a cabo un análisis de rasgos jerarquizados por lo que hay una contradicción aquí que, probablemente, se explique con la psicología de la visión, apartado que trataremos más adelante de una forma más extensa.

La Corteza Visual Primaria está organizada, por tanto, en columnas verticales. No es una masa homogénea de tejido en el que las diferentes tipos de células están repartidas aleatoriamente. Hubel y Weisel descubrieron que tenía una organización bastante precisa, que ellos denominaron "*arquitectura funcional*".

Cada columna mide alrededor de 30-100 nm de ancha por 2 mm de profundidad/altura y en la capa 4C de todas las columnas, que es donde terminan las fibras del núcleo geniculado lateral, hay células con campos receptivos concéntricos.

Más arriba y más abajo de este punto las células son las simples y poseen casi la misma posición retinal y eje de orientación. Debido a esto se les llama *columnas de orientación*. Cada una de estas columnas posee células complejas que reciben conexiones directas de las células simples en la columna. Así, en las columnas del sistema visual parecen estar organizadas para permitir interconexiones locales de las células, desde las cuales las células son capaces de generar un nivel de abstracción de la información visual. Por ejemplo, las columnas permiten a las células de la corteza generar propiedades de los campos receptivos lineales procedentes de los inputs de varias células en el núcleo geniculado lateral que responden mejor a los puntos de luz.

Este descubrimiento supuso un gran avance y planteó preguntas como la siguiente: dado que las células con el mismo eje de orientación tienden a ser agrupados en columnas, ¿cómo están las columnas con diferentes ejes de orientación organizadas en relación a las otras?. Se descubrió que había una organización muy precisa respecto de una columna a la siguiente: cada 30-100nm el electrodo encontró una nueva columna y una desviación en el eje de orientación de unos 10 grados aproximadamente.

La sistemática en los desvíos en los ejes de orientación están interrumpidos por los blobs, que reciben conexiones directas del núcleo geniculado lateral; además, las células que están en los blobs están vinculadas con el color y no con la orientación.

Junto a estas columnas dedicadas a la orientación y al color, con los blobs, hay una tercera columna dedicada al ojo derecho o al ojo izquierdo. Estas *columnas de dominancia ocular* son importantes para la interacción binocular.

En la capa 4C las células tienen campos concéntricos y responden al estímulo

más óptimo para ellas que se presenta en un ojo solamente. Sin embargo, en otras capas, las células tienen campos binoculares, en los que las células responden a su estímulo más adecuado si se presenta a ambos ojos. De todos modos existe lo que se llama la *dominancia ocular*, que consiste en que las células siempre responden de una forma más clara a los estímulos de un ojo que a los de otro. Todas las células que comparten la misma dominancia ocular están reunidas en las mismas bandas, formando patrones alternativos de bandas del ojo derecho y del ojo izquierdo que se distribuyen a través de la corteza visual.

Hubel y Wiesel presentaron el término *hipercolumna* para referirse a un conjunto de columnas que responden a las líneas de todas las orientaciones desde una región particular en la vía del espacio de ambos ojos. Estas columnas de 1mm cuadrado están repartidas desde la superficie de la corteza visual primaria hasta la sustancia blanca, la cual está constituida por los axones que corren entre la corteza visual y otras regiones corticales más profundas. Debe haber también columnas para otros aspectos de la visión.

La función, en fin, de las hipercolumnas es recibir entradas de información, transformarla, y enviarla y repartirla a diferentes partes del cerebro. De esta forma los diversos circuitos sinápticos dentro de cada lámina y entre láminas producen nuevas y más niveles de abstracción en el procesamiento que aquellos que se alcanza en la retina y en el núcleo geniculado lateral.

Como resultado, la *corteza visual primaria* tiene tres funciones principales:

A) reconstruye el mundo visual en líneas cortas de varias orientaciones, lo cual es un primer paso en el proceso del pensamiento o es necesario para la discriminación de la forma y el movimiento.

B) segrega información sobre el color procedente de todo aquello que tenga que ver con la forma y el movimiento.

C) combina las entradas de información procedentes de ambos ojos, lo cual es un paso en la secuencia de transformaciones necesarias para la percepción de la profundidad.

También hay tres tipos de columnas:

A) las columnas de orientación, cuyas neuronas responden selectivamente a las barras de luz con unos específicos ejes de orientación.

B) blobs, especie de parches que están en las capas superiores (no en la capa 4) que tienen células que responden a los diferentes estímulos de color y a aquellos campos receptivos, como aquellos de las células en el núcleo geniculado lateral, que no tienen una orientación específica. Sobre los blobs hablaremos con más profundidad en temas posteriores.

C) las columnas de dominancia ocular, las cuales reciben inputs o entradas de información por parte de ambos ojos.

Blasdel y Salama averiguaron la relación que existe entre ellas. Encontraron que las columnas se agrupan en "módulos" dentro de los cuales hay ligeros cambios en la orientación, y están separadas por "fracturas" en las que la orientación cambió bruscamente. Las bandas de dominancia ocular y las fracturas entre módulos se alinean de forma que cada módulo contiene células con dominancia tanto del ojo derecho como del ojo izquierdo.

Estos sistemas columnares están asociados unos con otros por medio de conexiones horizontales que unen células con una capa. Estas conexiones laterales permiten la comunicación entre columnas con una función similar a las propias correspondencias dentro de una misma columna.

Los estudios anatómicos y metabólicos han establecido que las células de la corteza que tienen campos receptivos con la misma orientación están conectados por medio de una horizontal. La corteza visual, por lo tanto, está organizada funcionalmente en dos modelos de interconexiones: una vertical, consistente en columnas funcionales cruzando las diferentes capas de la corteza; y la otra es horizontal, que conecta las columnas funcionales con las mismas propiedades de respuesta.

La importancia real de las conexiones horizontales es que integran la información sobre muchos milímetros de corteza. Como resultado, una célula puede ser influenciada por un estímulo fuera de su campo receptivo normal.

El término psicológico *efecto contextual* se refiere a la evaluación que hacemos de los objetos en función del contexto en el que se encuentra. Este efecto es debido a las conexiones horizontales puesto que el eje de orientación de una célula no es invariable, sino que depende del contexto en el que esté situado el objeto.

La importancia real del efecto con textual para el tema que nos aborda, radica en que nos da las claves para generar un ciberespacio donde un mismo objeto es codificado de diferente forma según vayamos cambiando el background. De esta forma nos ahorraríamos mucha información, ya que como sabemos hay modelos o backgrounds ya creados en librerías, para ahorrar, precisamente, información de modelado al ordenador. Sería más simple y se aprovecharía mejor a la máquina para la generación de imágenes en tiempo real, que es un factor clave para el buen desarrollo de estos sistema

virtuales.

Hay varias coincidencias entre la corteza visual y la corteza somática: ambos tienen una modalidad específica, están topográficamente organizados de manera modular, es decir, ambas están organizados en capas y cada una de ellas tiene una función o de input o de output. Esto nos hace pensar que ambas zonas están sujetas a un mismo plan y, aunque cada una de ellas tenga una función distinta claramente definida, existe la posibilidad de que ambas sigan una lógica común en la transformación sensorial de los estímulos procedentes de los receptores periféricos.

4.2. FUNDAMENTOS PSICOLÓGICOS

El hecho de reconocer a un amigo o a un paisaje es un proceso mucho más complejo que cualquier complicadísima operación lógica que pueda resolver un ordenador.

Debemos entender la percepción como un proceso creativo en el que se crea una tercera dimensión del mundo, que es diferente de las imágenes en dos dimensiones que son proyectadas sobre la retina.

Si nosotros nos movemos, o si la iluminación cambia, el tamaño, la forma y el brillo de las imágenes que un objeto proyecta sobre la retina cambia. Cuando un amigo viene hacia tí, tú percibes que el amigo se acerca, no que se hace más grande. Estos son claros ejemplos de creación en nuestro cerebro de una percepción tridimensional.

Por tanto, se puede afirmar que el sistema visual en su conjunto, transforma los estudios de luz de la retina en *construcciones mentales* de mundos 3D estables.

La psicología como ciencia independiente es relativamente reciente. Anteriormente, se encuadraba como parte de la filosofía. La psicología perceptiva es, aún, más reciente.

Personajes tan importantes como Leonardo da Vinci, Kepler o Newton realizaron estudios transcendentales acerca de la luz, que han tenido relevancia hasta nuestros días. Más adelante, en los siglos XVII y XVIII, se profundizó más en esta cuestión, siendo los estudios de Descartes sobre la imagen retiniana y el gran desarrollo de la formación por las lentes, lo que lleva a pensar que el ojo funciona como una cámara oscura y que el punto de partida para la comprensión de la visión es una imagen. Esto puede resultar una obviedad, pero hay que tener en cuenta que si el punto de partida es una imagen tal como se aprecia en una cámara oscura, el mundo sería plano o bidimensional y estático. Sin embargo, estos filósofos, por mera observación,

comprueban que la realidad es tridimensional, en movimiento continuo y bastante sólido, lo que les hace pensar que la percepción es algo que merece un estudio más detallado porque, según parecía, la percepción debía implicar procesos que iban más allá de la propia imagen, que antes habíamos considerado como punto de partida.

Si seguimos con este proceso histórico debemos tener muy en cuenta a los empiristas, cuyos pensamientos sobre este tema han seguido vigentes hasta nuestros días.

Aristóteles dijo que *no hay nada en la conciencia que no haya estado antes en los sentidos*. Esta fue una de las primordiales en las que se sustentaba el empirismo.

Locke y Berkeley, dos empiristas notables, afirmaron que la percepción estaba construida a partir de sensaciones primarias, por medio de un proceso de aprendizaje por asociación. Mediante el análisis de sensaciones elementales pretendían desentrañar la complejidad del pensamiento humano ya que, según ellos, las ideas complejas se basaban en la experiencia sensorial de tal modo que cualquier concepto que no pueda ser contrastado con hechos experimentados no tenía validez ninguna. También intentaban analizar los mecanismos que construían las percepciones a partir de estas sensaciones, según el conocimiento previamente adquirido mediante el aprendizaje, en clara referencia a las teorías de Aristóteles. Somos capaces de reconocer algo cuando lo hemos visto, es decir, experimentado, muchas veces por lo que un mismo estímulo percibido muchas veces produce siempre los mismos resultados.

Hacia finales del siglo XIX, las principales teorías del momento, el conductismo y la Gestalt, estudiarían el problema de la percepción de una manera bastante extensa, influyendo notablemente en las investigaciones posteriores.

El conductismo tiene su máximo exponente en J.B. Watson, autor que reemplaza el término "sensación" por "respuesta discriminatoria". Este modelo de pensamiento basaba sus ideas en el examen de la conducta de los animales y seres humanos, y la observación de sus respuestas ante los estímulos que se les iban presentando, ya que afirmaban que era imposible conocer como experimentaban el mundo los animales, por ejemplo, lo cual era la base del empirismo. Los estímulos tienen mucha relación con el ámbito en el que se viva ya que la conducta tiene lugar en un ámbito determinado que regula dichos estímulos. Este ámbito conductal depende, por tanto, de las condiciones del medio geográfico y de las condiciones del propio organismo.

El conductismo atribuye la realidad a las partes y la niega a todos los compuestos de esas partes, es decir, lo general ha de resolverse en lo particular. Hay que tener en cuenta que conducta son aquellos movimientos de los organismos que terminan en un cambio de conducta, lo que no quiere decir que todo comportamiento sea movimiento.

La *Gestalt* es otra tendencia que corre al mismo tiempo que el conductismo, pero

que ha tenido una influencia mayor en épocas posteriores. Su filosofía rechazó el *estructuralismo* o empirismo que afirmaba que la percepción se reducía a las sensaciones, pero fue influenciada por otra corriente, coetánea al empirismo, llamada *nativista*, que afirmaba que el conocimiento de entidades como "tiempo" y "espacio" eran innatas. Los *gestaltistas* mantienen que la experiencia perceptual es el resultado de cierto campo magnético de fuerzas dentro del cerebro.

Los *gestaltistas* encuentran que el empirismo falla debido a lo que llaman *error de experiencia*. Si construimos una figura compleja a base de figuras simples fácilmente reconocibles lo veríamos como un todo y no cada figura por separado como tendría que asegurar el empirista, ya que nunca habríamos percibido anterior mente la forma compleja pero sí lo habríamos hecho con las formas simples. En cuanto a la percepción de la profundidad los empiristas vuelven a reiterar su argumento de la experiencia, mediante el aprendizaje de signos que unido al paralaje binocular nos hace construir los mundos tridimensionales en los que nos movemos. Para la Gestalt el valor de la experiencia en la tridimensionalidad es también importante, pero lo que realmente determina la percepción de la profundidad son las fuerzas de organización. Todos los dibujos son bidimensionales, es decir, su fuerza de paralaje es nula; no obstante, podemos apreciar que en muchos existe la posibilidad de percibir la tercera dimensión, lo que muestra el poder de otras fuerzas organizadoras que tienen que superar la fuerza del paralaje y las que tienden hacia una estructuración plana del dibujo.

Los orígenes históricos de la Gestalt están en los trabajos que Von Ehrenfels desarrolla en Viena y que, posteriormente, serán desarrollados por un grupo de investigadores de la Universidad de Berlín hasta que, con la llegada de los nazis al poder en 1933, tienen que cesar en sus trabajos ya que una gran parte de los científicos *gestaltistas* son judíos.

Se exilian y marchan a USA donde son acogidos con un gran interés. Koffka, Wertheimer, Kohler, Rubin, Voth, Lewin, etc. son algunos de los principales exponentes y el libro "*Principios de psicología de la forma*", publicado en 1936, supone el grado máximo de formalización de los métodos experimentales usados, los cuales se habían perfeccionado desde 1920, fecha hasta la cual no se había pasado de efectuar meras descripciones de los fenómenos perceptivos.

En los Estados Unidos había una corriente principal en aquellos años: el conductismo, pero con la llegada, de la Gestalt se produce una curiosa simbiosis entre ambas tendencias aunque es la Gestalt la que lanza grandes críticas al conductismo en los términos siguientes.

La Gestalt afirma que hay dos tipos de conducta. La *conducta de masa o masiva*, que es la cotidiana, es decir, las acciones que hacemos cada día y la *conducta molecular*, que son los distintos pasos que lleva la información sensorial para su interpretación en el cerebro.

Para el conductismo lo más importante es la conducta molecular. La Gestalt critica esta parte del conductismo aseverando que atribuye realidad a las partes, negándola a los todos compuestos por estas partes, es decir, lo masivo ha de resolverse en molecular; también afirma que si tomamos esta base del conductismo, la psicología será una parte más de las ciencias del espíritu (religión, parapsicología,...) por lo que en tal sistema molecular no habría ningún lugar posible para el sentido y el significado, aspecto fundamental para una ciencia seria.

La gran diferencia existente entre las diferentes escuelas psicológicas radica, según Koffka, en el *campo fisiológico*, término introducido por la Gestalt. Para los conductistas el utilizar la fisiología para explicar la conducta es una vuelta atrás, ya que se pasaría de una psicología experimental, como es la suya, a una psicología especulativa, como es la de la Gestalt. Además, piensan que es una pérdida de tiempo porque se desconocen multitud de datos sobre el sistema nervioso central.

La Gestalt está en contra de estas teorías. Wertheimer indicó que no había que considerar los procesos fisiológicos como procesos moleculares, sino masivos. Con esto podemos usar nuestras observaciones sobre el ámbito de la conducta y la conducta como datos para la elaboración concreta de las hipótesis fisiológicas, lo cual hace que la barrera entre ambas cosas que podían existir en un principio, sea totalmente salvada por la Gestalt. Este autor también indicó que los procesos fisiológicos no ocurren en zonas especializadas donde están implicadas sólo una parte del sistema nervioso central, sino que estos procesos ocurren de un modo en el que están inmersos todas las partes integrantes de dicho sistema nervioso central. Según nos recuerda Koffka (1973, 82), Köhler en 1929 afirmó que *toda observación es observación de hechos de comportamiento, de la experiencia directa*. Por esto se propusieron que podían, al igual que lo hace la física, estudiar los procesos fisiológicos a partir de hechos de comportamiento. De aquí surge la teoría gestáltica del *isomorfismo* de la que Köhler en su libro "Psicología de la Gestalt" (1920) dice: *cualquier conciencia real, en cada caso no sólo está estrechamente enlazada con su correspondientes procesos psicofísicos, sino que es afín a ellos en las propiedades estructurales esenciales*. La Gestalt llega a afirmar con la teoría del isomorfismo que los "movimientos de los átomos y moléculas del cerebro" no son "fundamentalmente distintos de los pensamientos y sentimientos".

Pero, ¿qué es la Gestalt? Villafañe (1987, 57) la define como *una agrupación de estímulos que no es fruto del azar*. La Gestalt no es algo que posean los objetos, sino que es lo que sirve para "reconocer" objetos o, por lo menos, se manifiesta sólo cuando se muestra la "estructura" completa del objeto. De aquí se llega a la conclusión de que *"la totalidad es más que la suma de las partes"*, idea totalmente identificada con psicólogos gestaltistas tales como Ehrenfels, Köhler, Wertheimer y Koffka.

La importancia real de la Gestalt se descubre cuando se tiene en cuenta que ha

sido considerado durante muchos años como el paradigma metodológico más importante para el estudio de la percepción. Vamos a tratar de profundizar un poco más en lo que es esta teoría, que revolucionó el campo científico de la percepción visual en el ámbito psicológico.

La psicología se ocupa del comportamiento de los seres humanos. Uno de sus apartados, el mental, adquiere una importancia suprema para el psicólogo.

Los gestaltistas parten de la idea primaria de que el sistema nervioso central es el punto convergente entre espíritu, vida y naturaleza inanimada.

Koffka estableció su propio análisis de las diversas teorías perceptivas surgidas a lo largo de la historia. Inició su estudio con el *materialismo*, para el que todo son moléculas que interaccionan y que están continuamente cambiando. El problema de esta teoría, según Koffka, es el hecho de que sólo cogen el factor de materia inanimada como válido y, según los planteamientos filosófico y científicos cualquiera de los tres, es decir, espíritu, vida y naturaleza inanimada, es igual de válido para explicar un fin último. Por lo tanto se queda ya coja en su propia base.

Después le seguiría lo que el autor denominó *vitalismo y espiritualismo*, clasificándolo en tres tipos. El primero es el de Descartes que reúne por un lado la vida y naturaleza inanimada y por otra el espíritu que es lo que separa al hombre del resto de la creación. El segundo y más relevante a lo largo de la historia se denomina vitalismo, y lo que propone es que vida y espíritu están unidos pero gobernados por fuerzas de la naturaleza. El tercero se adhiere a la triple división y busca principios activos especiales en cada uno de los tres dominios.

Se pasaría después a lo que nombró como *cantidad y cualidad*. En la psicología de la época se pretendía medir absolutamente todo, (emociones, memoria,...) lo cual supone una enorme exageración. Según Koffka esto es debido a que no se conoce que significa realmente cantidad en física, que es una medida de algo que contribuye a sostener una teoría, y no una colección de números.

Llegamos al *orden*. Cada parte está en el lugar adecuado para así lograr la armonía adecuada. Es como cuando un pianista toca una melodía en el piano: la tecla que toca está en ese orden y, por eso, suena la canción de esa forma. Esta teoría está muy sujeta a la subjetividad, ya que para unos la melodía puede resultar bellísima y para otros horrible.

Por último Koffka llega a la *solución del dilema positivista-vitalista*. Para él, tal como nos recuerdan Bruce y Green (1992, 33), *si fuese posible demostrar que el orden es característico de los sucesos naturales y ubicarlo, por tanto, dentro del dominio de la física, entonces podríamos incorporarlo a la ciencia sin introducir una fuerza vital especial causante del orden. Y esta es exactamente la solución que la teoría de la Gestalt ha ofrecido y trata de elaborar.*

Intentan integrar su teoría en la cultura ya que para los integrantes de la Gestalt,

la cultura además de existencia, tiene sentido o significado y valor, y una psicología que no recoja los conceptos de sentido y valor no es una psicología completa, sino una subestructura.

Pero como toda nueva teoría científica debe demostrar el papel que juega dentro de la ciencia. Para ello no deben tratar el tema como hechos aislados, sino como la relación de un grupo de hechos y, de esta forma, ser introducidos en la ciencia.

Todos los hechos que estudian, por tanto, están contenidos en grupos o unidades interrelacionados que son una serie de sucesos ordenados y plenos de sentido.

Para ello recurren a la categoría de forma. Esto implica descubrir qué partes de la naturaleza pertenecen como partes a todos funcionales, descubrir su posición en estos todos, sus grados de independencia relativa y la articulación de “todos” mayores en “subtodos”.

Su teoría científica se basará en las gestalten (formas) de diferente rango. En cada forma hay orden y sentido, ya sea en mayor o menor grado y, para una forma, cantidad y cualidad son la misma cosa.

Como vimos antes, el conductismo es la teoría psicológica reinante en los Estados Unidos cuando llegan, procedentes de Alemania, los psicólogos de la Gestalt. Sus primeros estudios en los Estados Unidos se toman como punto de partida del conductismo. Pero pronto se desmarcan abiertamente. Lo primero que hacen es delimitar el término conducta. Bruce y Green (1992, 50) nos recuerdan que Koffka estipulaba que *sólo se entenderá por conducta aquellos movimientos de los organismos que acaecen en un ámbito de conducta*. Hay que advertir que esta definición no sostiene que todo comportamiento sea movimiento.

Esto quiere decir que, por ejemplo, una pelota se desliza sobre un plano inclinado para caer a un hoyo. El hoyo puede estar lleno de agua o no. Este hecho no afecta para nada al movimiento de la pelota sobre el plano, es decir, nosotros hacemos algo para llegar a un fin. Mientras estamos haciendo ese algo el fin puede influir o no, pero, si no influye el comportamiento, el resultado final es igual de válido que si influyera. En principio, todas nuestras acciones no buscan un fin.

Esta relación entre acción y finalidad no está establecida ciertamente en el ámbito geográfico. Debe estar presente, por tanto, en alguna otra parte; esta otra parte es lo que llamaron *ámbito de la conducta*.

La diferencia entre el ámbito geográfico y el condutal es la misma que entre realidad y apariencia.

Sucede una y otra vez que estímulos diferentes producen la misma reacción: esto se torna perfectamente comprensible si consideramos que bajo las condiciones dadas del caso estos estímulos diferentes producen el mismo objeto de conducta.

La conducta con respecto a dos estímulos casi iguales es idéntica cuando ellos producen dos objetos conductales idénticos; es diferente cuando los dos objetos

conducta correspondientes son diferentes.

Koffka llamó *actuación* a la conducta en relación con el ámbito geográfico, y *conducta o comportamiento* a la conducta con aspecto al ámbito conductal.

El término “actuación” indica directamente la manera de describir la conducta con referencia al ámbito geográfico, pues las consecuencias de la conducta actúan provocando cambios en el medio geográfico.

Yo soy el centro de mi ámbito, pero no el centro del ámbito. Las posibilidades de combinación que tenemos son las siguientes: mi conducta en el ámbito conductal de algún otro y mi conducta en mi propio ámbito conductal, o, intercambiando los sujetos, la conducta de algún otro en mi ámbito conductal y su conducta en su propio ámbito conductal. A la conducta mía y la del otro en nuestros propios ámbitos conductales las llamaron *conducta aparente*, y a la conducta del otro y mía en el ámbito de la conducta general lo llamaron *conducta fenomenal o experimentada*. Un factor fundamental de influencia en nuestro ámbito de conducta es la memoria.

La Gestalt define la psicología como el estudio de la conducta en su relación causal con el campo psicofísico.

El campo psicofísico está organizado. Tanto el medio ambiente como el yo son una cantidad de objetos y sucesos separados, que, como objetos y sucesos separados, son productos de la organización.

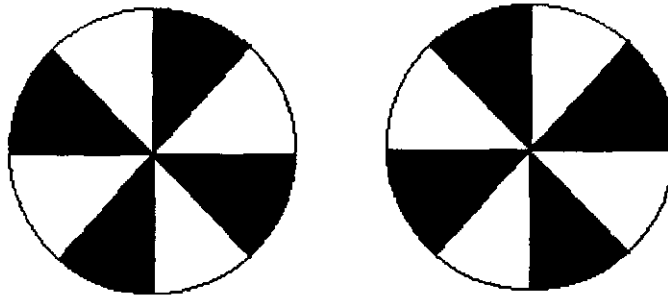
El método científico que siguen para estudiar la conducta como un acontecimiento en el campo psicofísico es el siguiente:

- a) Estudian la organización del campo conductal, lo cual está compuesto por el descubrimiento de las fuerzas que lo organizan en objetos y fenómenos separados; las fuerzas que existen entre estos objetos y fenómenos diferentes; y cómo producen estas fuerzas el campo ambital según lo conocemos en nuestro ámbito de conducta.
- b) Investigan cómo pueden influir en dichas fuerzas los movimientos del cuerpo.
- c) Estudian el yo como una de las principales partes del campo mostrando que las fuerzas que enlazan al yo con las otras partes del campo son de la misma naturaleza que aquellas que vinculan diferentes partes del campo ambital, y como producen la conducta en todas sus formas.
- d) Nuestro campo psicofísico existe dentro de un organismo real que a su vez existe en un medio geográfico. De este modo, las cuestiones de la cognición verdadera y adecuada o conducta adaptada entrará también en su tesis.

Empiezan delimitando lo que son los elementos constitutivos de las “cosas”. El término “cosas” es una denominación gestaltica para asignar a cualquier objeto, animal o persona, que pueda entrar dentro del estudio. Los elementos de que están compuestos son la delimitación conformada, propiedades dinámicas y la constancia.

El campo tiene cosas y no-cosas (cosas muertas). Las cosas no llenan nuestro ámbito ni espacial ni temporal.

Las cosas son como se ven, o dicho de otro modo, sus apariencias nos dicen que debemos hacer con ellas aunque, por ejemplo, el examen previo de una ilusión óptica nos puede mostrar que la percepción puede ser engañosa. Por ejemplo, si observamos esta figura veremos:



En nuestro campo conductual, hay una unidad, una cruz; en el ámbito geográfico no hay ninguna cruz, no hay más que once puntos en cierta disposición geométrica, más no hay vínculo alguno entre ellos que pudiesen transformarlos en una sola unidad.

Entonces las cosas se ven como se ven no por su existencia real, tamaño o movimiento, por lo que el que las cosas sean lo que son no explica este hecho. Son las ondas luminosas y no los objetos geográficos la causa directa de nuestras percepciones. Esto quiere decir que no es el bolígrafo que ahora sostengo entre mis manos el que afecta a mis sentidos, si no que es la luz proveniente del sol, en este caso, el que verdaderamente estimula mis sentidos.

Si se habla de estimulación en la Gestalt hay que tener muy clara la diferencia entre lo que es un *estímulo distante* (el boli en el ámbito geográfico) y lo que es un *estímulo próximo* (las excitaciones a que dan lugar los rayos de luz que parten del boli).

No se puede olvidar que hay una relación directa entre los objetos y la luz basada en la cualidad de las cosas, la naturaleza de la luz y la posición de las cosas respecto a nosotros mismos. Esa relación directa es lo que llamamos *perspectiva*.

La apariencia de las cosas depende tanto de la estimulación próxima como de la estimulación distante, es decir, del conjunto de condiciones que deben yacer dentro del organismo real.

En el hecho de que las cosas sean como son también influye el que existan dos campos: el primario o de las sensaciones y el secundario o de las percepciones, siendo

el primer campo el inicio de todo. Ellos sólo estudian el campo de las percepciones, dejando el de las sensaciones, porque en este campo se encuentra la experiencia que es un factor muy importante a la hora de cualquier análisis.

La clave de todo radica en que tenemos que tener claro que nosotros no vemos estímulos, sino que podemos ver a causa de los estímulos, lo que significa que las cosas se ven en ese modo a causa de la organización del campo a que da lugar la distribución de la estimulación próxima. Este es el principal motivo por el que se deben estudiar las posibles leyes de organización de los estímulos próximos ya que así podremos intentar averiguar como realmente ven los ojos.

Pero la organización es un proceso que depende del medio, como es natural, ya que dichos procesos organizativos se producen en un medio. Es de utilidad distinguir entre condiciones exteriores e interiores, externas e internas, siendo las primeras, aquellas creadas en las superficies sensoriales por los estímulos próximos; las segundas, son las condiciones inherentes a la estructura nerviosa en sí mismo.

Los procesos nerviosos se pueden asemejar a los procesos físicos. Una de las principales propiedades de la física es que se suele basar en procesos constantes y casi estables. Los procesos nerviosos son bastante estables pero como dependen de condiciones como vejez, accidentes, . . . , no se puede decir de ellos que sean totalmente constantes. Sin embargo, si podemos afirmar que hay procesos nerviosos (físicos) fijos como, por ejemplo, el que se encarga de mantener la respiración, etc, por lo que deben mantener características fijas. Es bastante probable que existan procesos perceptivos psicofísicos que puedan ser fijos.

Wertheimer en Bruce y Green (1992, 136) enunció partiendo de este principio la *ley de pregnancia*, la cual afirma que *la organización psíquica será siempre tan "buena" (=simétrica, simple, regular) como lo permitan las condiciones dominantes.*

Tradicionalmente se había pensado que se estimulaba exclusivamente a un sólo punto en la retina. La Gestalt demuestra que esto es totalmente falso gracias al argumento de la visión tridimensional. Si solamente fuera estimulado un punto veríamos en dos dimensiones (x,y), mientras que el hecho de que son estimulados todos los puntos hace que se pueda dar representación en los tres puntos del espacio.

Berkeley afirmó que no nos era posible ver la profundidad, por lo que la percepción de la profundidad no es sensorial. Con esto, dicho autor, presupone que el espacio no sea tratado como un único punto si no como una suma de locales independientes. También Berkeley supone que si la retina es bidimensional el espacio es también bidimensional. Nosotros ya sabemos que el cerebro interpreta las tres dimensiones y la retina es la primera prolongación del cerebro en cuanto al sistema visual en 3D. La Gestalt también llegó a la conclusión, que más adelante desarrollaremos con más profundidad, de que bajo condiciones de estímulo lo más

simples posible, nuestra percepción es tridimensional.

Además hay condiciones que facilitan la percepción. Con intensidades de luz más altas la distribución del estímulo ya no es perfectamente homogénea, si no que posee lo que en la teoría de la Gestalt llamaron una microestructura. Ahora bien, la microestructura del objeto del estímulo distante es independiente de la iluminación, siendo totalmente dependiente la estimulación de la microestructura próxima. La respuesta ha de buscarse en la *acomodación*. La discontinuidad debido a la microestructura es tan pequeña, que si los ojos no están perfectamente enfocados desaparece, y, mientras la iluminación es baja, la acomodación es perfecta. Si aplicamos esto a la realidad virtual habría que evitar el crear gráficos con una alta luminosidad porque el ojo tarda más en llegar a la perfecta acomodación. Los estallidos de luz, por tanto, provocan una falta de realidad debido a que el ojo enfoca peor, por lo que la información que le llega al cerebro es de peor calidad y el procesado de la misma hace que veamos la imagen peor. Lo mismo ocurre cuando en la realidad nos dan un fogonazo con una linterna. Nos cegamos y hasta que recuperamos la normalidad en la acomodación de nuestros ojos vemos nuestro entorno con poca calidad llegando, a veces, a no distinguir las cosas.

Pero empecemos por el principio. Los teóricos de la Gestalt proponen distintos grados de organización en base a homogeneidad o heterogeneidad de los estímulos que influyen en el proceso perceptivo basándola en la distribución del color. “(1) Color uniforme mente distribuido sobre cierto volumen visible. (2) Color distribuido sobre la totalidad de cierto volumen visible, pero tornándose más denso a medida que aumenta la distancia a que está el observador. (3) Color reducido a los confines de un volumen visible, donde forma una niebla abovedada. (4) Color condensado en una superficie nebulosa y transparente que rodea al observador como una bóveda. (5) Color condensado en un plano paralelo, frontal, vertical, con verdadero carácter de superficie (como opuesto a la nebulosidad transparente). Los números (3) y (5) presuponen heterogeneidad de estímulo y microestructura; el (2) y posiblemente el (1) se dan cuando la estimulación es verdaderamente homogénea.

De todo lo anterior, Bruce y Green (1992, 146) concluyen que *todo espacio fenomenal es el producto de fuerzas realmente efectivas*. En la tercera dimensión este espacio se hace más pequeño, debido a que con una iluminación mayor el espacio se expande pero al tener una estimulación más homogénea, la tercera dimensión se reduce.

El espacio homogéneo no es tan estable como un espacio bien articulado. Todos hemos visto en la oscuridad de nuestra habitación nubecillas o formas irregulares que no existen en realidad. Esto lo provoca el sistema nervioso. El espacio homogéneo que en este caso es la oscuridad es el otro factor para que ocurra dicho fenómeno.

En realidad virtual se puede aprovechar el saber esto para no crear ciberespacios

con una iluminación homogénea que, como hemos visto, provoca efectos raros en el sistema nervioso acompañado de una más difícil acomodación del ojo. Ahora mismo, los espacios en realidad virtual son totalmente uniformes y esto, como venimos demostrando casi desde el principio, provoca bastante irrealidad en el hecho perceptivo.

Pero la percepción no es algo exclusivo del espacio si no también del tiempo, por lo que la homogeneidad es un factor que influye también en el tiempo. Antes y después de un estímulo hay tiempo; mientras transcurre el estímulo el tiempo es homogéneo pero en el pasado y en el futuro este tiempo es heterogéneo.

Además el espacio no sólo depende de la estimulación visual, sino que también depende de los demás sentidos siendo muy importante, por ejemplo, el oído.

Un ejemplo de estimulación no-homogénea en un campo homogéneo se produce si manchamos un papel blanco con una mancha de tinta. Percibiremos una mancha, pero esto nos trae dos problemas: primero, que la mancha de tinta es concebida independientemente del trozo de papel y, segundo, que la mancha de tinta tiene por sí sola, *forma*.

Para el punto primero la primera explicación que se nos puede ocurrir es el hecho de que estén coloreadas de manera distinta, o lo que es lo mismo, la igualdad en la estimulación produce fuerzas de cohesión y la desigualdad de la estimulación, fuerzas de segregación, siempre y cuando la desigualdad ocasione un cambio brusco. De hecho, si los valores en la luminosidad de la forma y el fondo son parecidos el contorno se llega a perder. Esto es algo que todos hemos constatado alguna vez.

Una posible aplicación a la hora de crear ciberespacios se podría dar cuando queramos que un objeto aparezca o desaparezca de un entorno. Sería tan simple como cambiar le la luminosidad y la croma hasta que tuviera las mismas que el fondo. Si además lo hacemos con movimiento la sensación puede parecerse más a la realidad que si aparece o desaparece bruscamente, ya que los procesos fisiológicos producidos por dos superficies de distinta luminosidad, pueden compararse a dos líquidos que no se mezclan, y dos superficies de igual luminosidad de diferente color a dos líquidos que se mezclan. Sin embargo, si la luminosidad y los colores son iguales se asemeja a dos líquidos que aún pudiendo ser distintos, nos van a parecer iguales.

No obstante, no todos los colores son semejantes en este aspecto. Un color se mezcla tanto mejor con un gris de igual brillo, cuanto más corta sea la longitud de onda que lo produce. De este modo, el rojo es el color que se separa mejor y el azul el que se separa menos. Hay que distinguir, por tanto, entre colores fuertes y suaves, perteneciendo el rojo y el amarillo a los primeros y el azul y el verde, a los últimos.

Se comprobó que a mayor intensidad de iluminación, mayores fuerzas de unificación y separación. Además, se encontró que el blanco es un color más fuerte que el negro, aunque proyecte la misma cantidad de luz en los ojos del observador. En consecuencia, una figura roja saturada sobre un fondo blanco muy iluminado,

prácticamente no se mezclarían, es decir, estarían perfectamente definidos la figura y el fondo. La figura no perdería nada, o sólo el trazo más débil de su articulación en el punto de coincidencia, que es el punto en el cual la figura y el ambiente son de la misma luminosidad.

Con esto, Bruce y Green (1992, 157) demuestran *que la formación de unidades y la separación consisten en un proceso dinámico que presupone fuerzas producidas por discontinuidades en la estimulación próxima.*

Podemos afirmar, hasta ahora, que para la Gestalt es más importante la luminosidad de un objeto que el propio color del mismo. A la hora de crear espacios virtuales debemos tener en cuenta parámetros perceptivos como que el rojo es un color poco separable por lo que llamará más la atención del usuario, mientras que los azules, que son colores más separables, llamará menos la atención. Siguiendo esto se puede proponer un estudio de los aspectos que más nos interesa de nuestro ciberespacio en particular para darle un determinado color u otro y así ir guiando la atención del usuario. El proceso perceptivo será más simple y, de esta forma, nos será más fácil engañar a los sentidos.

Pero si hablamos de luminosidad debemos hablar de contraste. La teoría tradicional del contraste de Hering afirma que el efecto de contraste no tiene nada que ver con la unidad o forma de los campos, sino meramente con la cantidad y la proximidad de los brillos exteriores al campo circundado. Según esto, un blanco genera un negro en todo lo que le rodea, decreciendo el negro con la distancia según unas fuerzas desconocidas. Una característica de esta teoría es que el contraste es una cuestión aditiva y absoluta. Depende de la mera cantidad y distribución geométrica de las excitaciones y de la intensidad absolutas de éstas, estando excluidas como factor efectivo la formación de unidades y forma, al igual que la relación de las estimulaciones de los campos. Esto según la Gestalt es totalmente falso y, más adelante, lo demostrarán.

Estudiaremos el siguiente experimento.



El triángulo pequeño se debería ver más oscuro en el triángulo que en la cruz, según la teoría del contraste de Hearing. Esto no es así por las fuerzas de unificación y segregación ya que el triángulo grande entero, del cual el triángulo pequeño es una parte, es una forma bien equilibrada; la forma de la parte negra por sí sola es una forma mucho menos satisfactoria. E inversamente, la cruz sin el triángulito es indudablemente una forma mejor que la forma que incluye la otra figura más pequeña. Dicho de otro modo: la organización depende de la forma resultante. De varias organizaciones geométricas posibles se realizará aquella que posea la forma mejor y más estable. Esto no es más, por supuesto, que la ley de pregnancia.

Tenemos, pues, dos clases de fuerzas: las *fuerzas organizadoras externas* que tienden a distribuir las fuerzas de la forma más simple posible; y las *fuerzas organizadoras internas* que orientan la tensión de las fuerzas de distribución y el modelo del estímulo hacia la simplificación.

Las fuerzas externas potentes en contraposición con las fuerzas internas débiles son las que hacen que podamos conceptualizar una mancha de tinta totalmente irregular como una forma estable o, por ejemplo, una figura circular irregular como una circunferencia.

Pero con fuerzas organizadoras externas débiles, las internas son suficientemente fuertes como para producir dislocaciones que llevan a formas más estables, en las cuales se han comprobado que la horizontal da más estabilidad que el vertical.

En este punto llegamos al concepto fundamental de la *simplificación*, que consiste en que el cerebro tiende a simplificar el hecho perceptivo cuando no tiene la cantidad de información necesaria para una total interpretación. Este concepto es la base de partida para el cine, que basa su lógica perceptiva en no darle al cerebro tiempo para asimilar la imagen estática. El cerebro acude a la simplificación y tiende a interpretar como movimiento el paso de fotogramas con muy poca diferencia entre ellos.

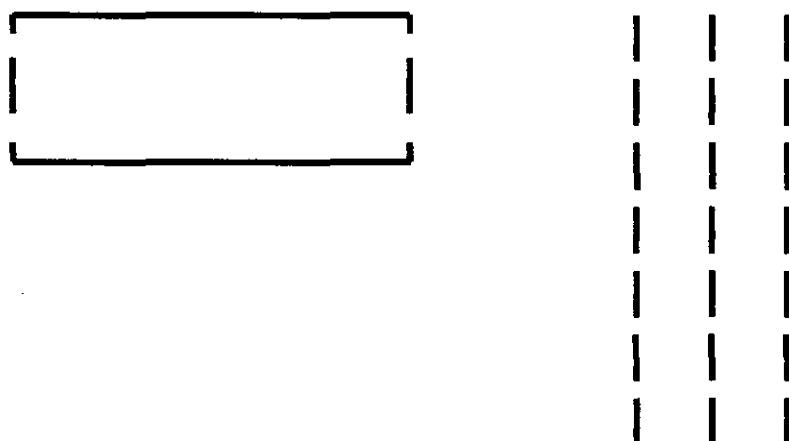
El análisis que Koffka plantea en su libro cada vez se va centrado más en aspectos puntuales de la percepción. Parte de lo más simple como es el punto y la línea, para llegar a lo más complejo, la visión tridimensional. Veamos que implica, para la Gestalt, el punto y la línea en la percepción humana.

Si un observador mira fijamente una hoja de papel en blanco terminará por ver un punto en alguna parte. Esto no es debido a que exista tal punto -que puede existir- sino también a una actitud propia del yo del observador. También hay que tener en cuenta que los puntos son bastante inestables debido a fuerzas que tienen su origen en el color homogéneo que suele tener, en este caso, la superficie del papel, siendo el punto la única inhomogeneidad.

Una línea es algo excepcional, psicológicamente hablando. Una sola línea

cerrada ya nos hace percibir un objeto o forma. La teoría de la discontinuidad explicaría porqué vemos una línea separada del resto pero no el hecho de como podemos apreciar una figura independiente del contorno. Sin embargo, si se puede explicar mediante la ley de la pregnancia que propondría que áreas cerradas pueden llegar a ser organizaciones estables autosustentadoras.

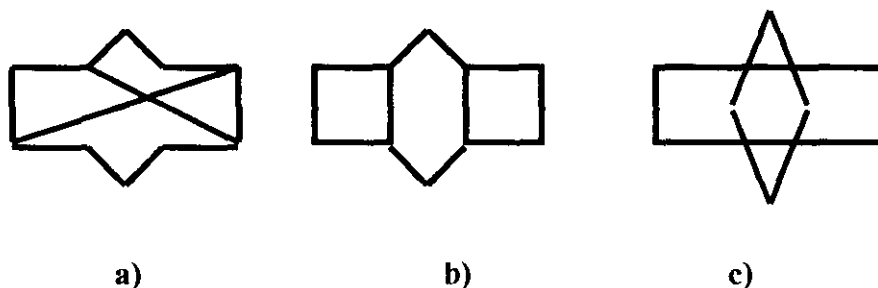
Una hipótesis de partida es que el contorno rodea a la figura antes de segregarse como línea del resto de la superficie, porque ésta es la organización más estable. También es más fácil conceptualizar un círculo con una línea que un triángulo porque el triángulo necesita de tres líneas para que su completa integración de forma.



Estas dos figuras se perceptualizan de distinta forma: mientras que la primera se ve como un rectángulo con una raya en medio, la segunda es conceptualizada como tres líneas paralelas independientes. La causa es que el rectángulo es una figura más estable que las otras dos figuras de las que está compuesta. El caso contrario ocurre con la otra figura.

Las líneas curvas tienden a proseguir su manera natural –un círculo como círculo, una elipse como elipse...-; se deduce que las líneas rectas son más estables que las líneas curvas.

Hay dos tipos de organizaciones: el *unum* y el *duo*. La primera es una figura compuesta de una sola forma y la segunda de dos o más. Ambas pueden estar en perfecta armonía entre sí. El *duo* puede ser de varias clases: las dos partes están combinadas; una figura descansa sobre la otra.



La figura muestra como, mediante líneas internas, puede hacerse que uno y el mismo contorno aparezca como unum (Fig. a), o como duo(a) (Fig. b) o, finalmente, como duo (b) (Fig. c). Las leyes de buena forma y buena continuación explican todos estos casos. Estas fuerzas organizadoras internas pueden producir también formas tridimensionales antes que bidimensionales. En realidad, el segundo paso se sirve del primero, pues no es de ningún modo evidente que toda distribución de fuerzas que destruya el espacio homogéneamente lleno, lo transforme en una superficie plana. Algunas distribuciones procederán de este modo, mientras que otras darán cuerpos tridimensionales.

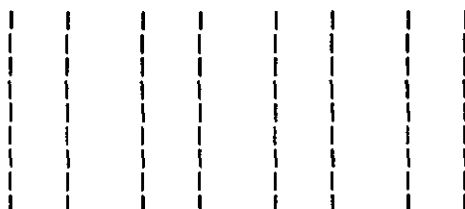
Las líneas y los puntos pueden combinarse en formas, produciendo un proceso de inhomogeneidad discontinua. Se puede dar el caso de la proximidad e igualdad entre líneas y puntos.

Si tenemos estas figuras:

(A)

..

(B)



Tanto las líneas como los puntos parecen formas parejas, debido a las distintas distancias que hay entre unos y otros. A pesar de esto cuanto mayor es la distancia entre

unos y otros mayor es la dificultad para asociar estos dos por lo que cuando las distancias son muy grandes no se dará ninguna unificación, y cuanto más corta la distancia entre los miembros, tanto más estable será la unidad. Hasta aquí sólo se demuestra que cuando el campo contiene una cantidad de partes iguales, aquellas que están más próximas entre sí se organizan formando una mayor unidad. Esta organización debe considerarse tan real como la organización de un punto homogéneo.

Esto es lo que se denomina *ley de proximidad*. No obstante, queda superada en el momento en el que introducimos el color y formas onduladas. Cuando se contraponen la forma y el color la dominancia de la proximidad sobre la igualdad disminuye. Si queremos comprobarlo tan solo tenemos que pintar de rojo y azul, por ejemplo, las rayas del gráfico anterior.

El análisis nos indica, Bruce y Green (1992, 199), que *dos partes en el campo se atraen mutuamente de acuerdo con su grado de proximidad e igualdad*. Por lo tanto la proximidad sola no vale como fuerza organizadora ya que la proximidad entre sucesos de cualquier tipo no produce fuerzas organizadoras, sino al contrario, se generan gracias a la proximidad en la que ocurren los procesos.

Otro caso a constatar es el del cierre. Las figuras cerradas son más estables, pero no todos los cierres son igual de estables.

No hay que olvidar que la gran mayoría de las estimulaciones existentes son no-homogéneas. Es más normal ver una pared que está iluminada muy bien en una parte y a medida que nos alejamos del punto de luz la pared deja de ser tan blanca, que encontrarnos con una pared iluminada por igual en toda su superficie. Si en esa pared hay un punto e iluminamos la pared mucho aparecerá más claro y, más oscuro, si la iluminamos menos. El efecto de un punto no es resultado solamente de la estimulación de ese punto, sino que depende de la distribución del estímulo sobre una amplia superficie.

Debe haber, por tanto, una organización que delimite los términos que componen el hecho perceptivo. Dicha organización nos debe llevar a la simplicidad (mínima o máxima) que es la base de la teoría de la Gestalt, pues es lo que constituye la *ley de pregnancia*. Koffka enuncia esta ley de la siguiente forma: *de varias organizaciones geométricamente posibles, la que de hecho tendrá lugar será aquella que posea la mejor, la más simple y la más estable de las formas*.

Simplicidad mínima será la simplicidad de la uniformidad; *simplicidad máxima* la de la perfecta articulación.

Si vemos una foto y luego intentamos recordarla comprobaremos que la postimagen, es decir, la imagen que fabricamos en nuestra mente, es bastante borrosa. La postimagen es mucho menos articulada, mucho más uniforme que la percepción; la primera, es un ejemplo de simplicidad mínima, la segunda es de tipo máximo.

También cuando estamos cansados hay una peor articulación que cuando estamos en plenitud de forma. Nos dormimos en una conferencia y empezamos a ver primero las cosas borrosas. Por tanto una mayor articulación implica un mayor consumo de energías, por lo que las fuerzas organizadoras son mayores o habrán liberado una mayor cantidad de energía.

Esta organización se puede llevar a cabo desde tres puntos de vista distintos: la cantidad, el orden y el significado.

Desde el punto de vista de la cantidad, la ley de pregnancia tiene carácter cuantitativo y cualitativo, siendo esto último lo que tiene la delantera en el campo de la experimentación concreta.

Con respecto al orden las unidades se forman y se mantienen segregadas de las otras unidades en un orden perfecto. Puedo ver mil cosas a la vez y cada objeto en todo momento mantiene su forma. Muevo continuamente los ojos sobre mi habitación y no siento ningún cambio en mi ámbito de comportamiento aunque hay un cambio continuo, ya que si siento que los ojos se mueven sobre objetos estacionarios. De modo que aceptamos el orden como una característica real, pero no necesitamos un agente especial para producirlo, ya que el orden es consecuencia de la organización y la organización es resultado de fuerzas naturales.

En cuanto al significado es claro que los hechos y el significado no pertenecen a dominios diferentes. El significado está unido al problema del todo y sus partes. Se ha afirmado en algunas corrientes que el todo es más que la suma de sus partes. Para Koffka, nos recuerdan Bruce y Green (1992, 121), es más correcto decir que *el todo es otra cosa que la suma de sus partes, porque la suma es un procedimiento sin sentido, mientras que la relación todo-parte está llena de sentido.*

Subamos un escalón. Ocupémonos de la figura y el fondo, y lo que engloba a ambas cosas: *el armazón*

Observemos la formación de una figura dúo, es decir, una "sobre" o "dentro" de otra.

Si decimos que una figura pequeña descansa sobre otra más grande, estamos también afirmando que la figura grande es una unidad en su totalidad, por lo que no deja de existir en el lugar en el que descansa la figura pequeña, sino que se extiende detrás o debajo de ella. Esto a su vez significa que una parte del campo total, coincidente con el área de la figura pequeña, está dos veces representada en nuestro campo ambiental, una vez como la figura pequeña en sí, y otra como una parte de la figura más grande.

Este ejemplo es el caso de tridimensionalidad más simple y es lo que se llama el hecho de la *doble representación*, que consiste en que nosotros vemos en nuestro ámbito visual de comportamiento y en el ámbito geográfico. Con esto se quiere decir que si hay un libro rojo encima de una mesa negra nosotros vemos tanto el libro encima de la mesa (ámbito geográfico) como la parte de la mesa que tapa el libro (ámbito

visual de comportamiento). Nunca pensaríamos que la parte de la mesa que tapa el libro no existe.

Una parte importante de la organización es, como estamos viendo, el *contorno*. Una línea de contorno cerrada pertenece a la figura circundada y la segrega del campo circundante debido a un cambio brusco en la estimulación.

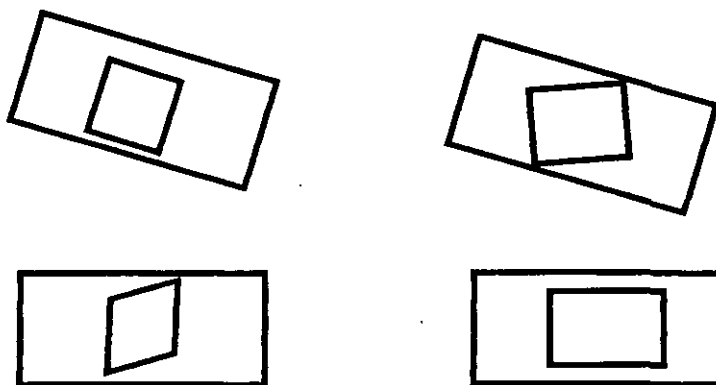
La función unilateral del contorno, es decir, el hecho de que hay figuras pequeñas con su límite que tiene más valor que el límite de la figura grande en el cual están incluidas, como la doble representación (ya explicada), y la función bilateral del contorno, es decir, figuras más complejas que están dentro de otro contorno que todo junto hace que sea una sola figura y no dos como en el caso de la función unilateral, creando, de este modo, dúos coordinados, permiten la posibilidad de gestar condiciones más precisas para la creación de figuras más estables. Si no se cumplen estas condiciones la organización es mucho menos clara.

Hay una conclusión final que deducen Bruce y Green (1992, 218): *la organización en varias partes que no tienen relación intrínseca entre sí, sino que son meramente una más una más una, es extremadamente rara y frecuentemente no se realiza.*

El contorno tiene la propiedad de dar forma a una parte del campo y no a la otra. Por tanto, si hay otros factores productores de forma en esos dos campos, su efecto será distinto de acuerdo con el efecto del contorno. Por ejemplo, un contorno conforma a una figura pero no al fondo; por tanto, si el fondo tiene forma es debido a otras fuerzas, nunca al contorno.

Pero sigamos hablando de la reacción figura-fondo. La figura siempre descansa sobre el fondo, o mejor, la figura depende del fondo sobre el que aparece. El fondo, por tanto, actúa como el armazón en que la figura está suspendida por lo que puede llegar a determinar a la figura.

Esto se demuestra con las figuras, tomadas de Kopfermann, de un cuadrado (que puede ser un rombo según su posición) descansando sobre un rectángulo. Según las distintas posiciones se ve una cosa u otra. Miremos a las figuras que se encuentran a continuación.



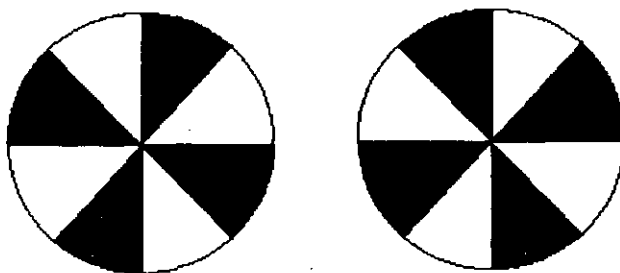
El fondo, lógicamente, adquiere más fuerza cuando se convierte en forma y la pierde cuando se vuelve a convertir en fondo. El fondo siempre es más uniforme y menos articulado que la forma. Además el color dota de una gran articulación, por lo que si el campo es coloreado siendo figura, tiene más articulación que siendo fondo. Hemos visto que la figura es más sólida, por lo que estaría más dentro de la categoría de cosa, que el fondo, que es menos compacto, por lo que pertenecería a la categoría de género. La figura, por tanto, estará conformada por fuerzas más fuertes que el fondo por lo que ofrecerá mayor resistencia a la intrusión de otra figura. Esta deducción fue verificada por Gelb y Granit mediante ingeniosos experimentos.

Las figuras fuertes sobre fondo suave dan una mejor articulación que figuras suaves sobre fondo fuerte. Pero los fondos fuertes dan una mejor articulación en ambos casos de las figuras.

Sería bueno, por tanto, tenerlo en cuenta a la hora de construir espacios virtuales en los que queramos hacer resaltar un término en detrimento de otro. Otra cosa que se puede hacer es cambiar la relación de colores figura-fondo según la posición del usuario, es decir, si estamos mirando un objeto hacer que resalte sobre el fondo, pero si lo dejamos de mirar y nos vamos alejando hacer que cambie de color para que resalte el fondo sobre la figura permitiendo, de este modo, que no distraiga a nuestros sentidos. Esto había que contrastarlo con los aspectos informáticos y ver si es posible o no, o si interfiere mucho en la potencia de memoria y rapidez de imagen el que se produzcan estos cambios.

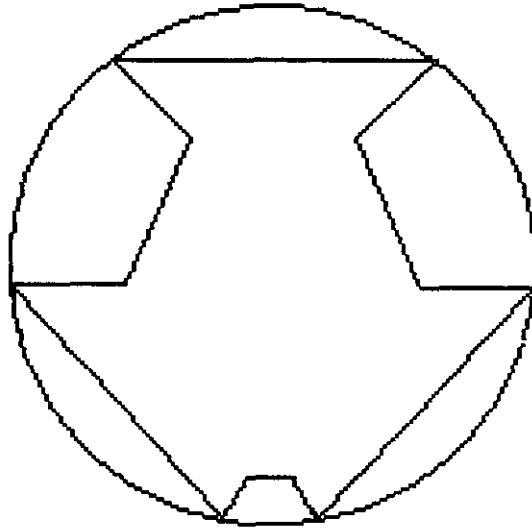
La dinámica de la articulación figura-fondo se puede decir que se basa en los siguientes puntos:

- 1) La orientación como factor determinante.- si tenemos estos dos círculos podemos comprobar que en el primero las cruces están en horizontal y vertical y, en el segundo de los círculos están en oblicuo. Con la simple observación –también está comprobado científicamente- nos damos cuenta de que hay –“*direcciones principales*” en el espacio, que son las horizontales y verticales, que hacen más estable una figura con respecto al fondo. En este caso la primera figura es más estable que la segunda. El fondo, en este caso, está distribuido debajo de la cruz.



- 2) Tamaño relativo.- En estas dos figuras también podemos apreciar que una tiene los brazos más anchos que la otra: la primera con respecto a la segunda, lo que provoca que sea la cruz del primer círculo la que se vea con más facilidad que la segunda. El fondo siempre es más grande que la figura ya que dicha figura está contenida en ella, porque sino no se llegaría a contemplar la figura.
- 3) Area circundante y circundada.- Si vemos la siguiente figura nos damos cuenta que la figura interna está contenida en la figura externa de tal modo que el círculo de fuera se convierte en fondo. Rubin enunció que *si dos áreas están segregadas de modo que una circunde a la otra, la circundante se tornará fondo y la circundada figura*.

En un área dada, cuanto mayor parte se transforme en fondo, menor integración requiere la figura. Además, es más fácil cerrar un fondo desde fuera hacia dentro que a la inversa. En el ejemplo, si no se tomara el polígono como figura aparecerían seis figuras inconexas, pero gracias a que estas seis figuras son menos estables la percepción nos hace ver la figura como un polígono.



- 4) Densidad de la energía.- El tamaño relativo también actuará directamente sobre la figura. La figura siempre es más pequeña que el fondo por lo que tiene una mayor densidad de energía. Cuanto más pequeña sea la figura, más densidad de energía tiene con respecto al

fondo que la envuelve. Dentro de un fondo no siempre está clara la figura debido, principalmente, a que ésta no tiene una gran articulación. No obstante se puede afirmar que aquellas partes con una mayor articulación interna se tornarán figuras dentro de ese fondo.

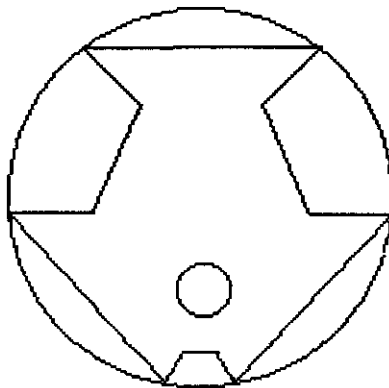
- 5) Simplicidad de la organización resultante; simetría.- La simetría es un hecho también importante. El observador, según experimentos, detecta bastante mejor la simetría que la asimetría, siempre que la figura esté sobre un fondo plano.

El fondo, a pesar de todo, es siempre más simple que la figura. En aquellos casos en que el fondo es contorno de la figura –cosa que no ocurre siempre- las condiciones son más sencillas y la figura goza de una gran estabilidad.

Esto se puede explicar según la organización en la postimagen, aceptando el supuesto de que dicha postimagen está incluida en las condiciones que hacen posible la organización y no en la propia organización. Esta postimagen es, en este caso, lo que hemos estado llamando imagen retiniana.

La imagen retiniana original y la postimagen, es decir, la que queda después de retirarse el objeto, son idénticas, aparte del hecho de que los colores estén intercambiados, y, sin embargo, por lo general, conducen a organizaciones distintas, teniendo la que surge de la última, una simplicidad de la clase mínima, o sea, mayor uniformidad, y la que surge de la primera, del tipo máximo, es decir, una perfecta articulación.

Pero estas condiciones de gran estabilidad que acabamos de enunciar no se suelen producir. Es más común que la figura descansa sobre el fondo, no que el fondo sea el contorno de la figura. En este caso las condiciones del fondo y la figura se rigen por separado.



En la figura que estamos viendo el pequeño círculo parece una figura sobre el fondo que a su vez está en otro fondo circular.

La articulación del tipo figura simple sobre un fondo menos simple no es muy fácil de lograr.

En realidad virtual se debe considerar bastante el factor de los fondos. Si el fondo es complejo, la articulación figura-fondo va a ser menor por lo que necesitamos un mayor tratamiento de datos para interpretar la figura que, a su vez, debe ser de una elaboración más precisa para que así destaque del fondo. Se necesitaría, por tanto, una mayor capacidad del ordenador para hacer que las figuras sean más reales, lo que supone una pérdida en la capacidad de trabajar a tiempo real por parte de la máquina. Si los fondos son más simples, la articulación figura-fondo se da mejor: nuestros sentidos comprenden mejor lo que estamos viendo y el ordenador tiene más capacidad de trabajo en tiempo real, que es uno de los factores básicos a la hora de funcionar en realidad virtual.

La parte del ojo que tiene una mayor articulación figura-fondo sería el centro de la retina. Por lo tanto, se podría afirmar que el centro de la retina se encarga de percibir figuras y la periferia se encarga de los fondos. Hemos visto antes que el centro de la retina goza de una mayor resolución que la periferia. La figura siempre deberá contar con una mayor resolución que el fondo. Es un punto de coincidencia entre biología y teoría de la Gestalt que nos gustaría destacar y que nos revalida nuestro argumento de que ambas disciplinas, psicología y biología, deben trabajar juntas a la hora de poder crear con éxito mundos artificiales.

Además el proceso de la articulación figura-fondo se puede aplicar a los demás sentidos. Con el oído es claro: podemos mantener una conversación mientras estamos escuchando la lluvia o el sonido de un río de fondo. Con los demás sentidos es más difícil de comprobar.

Según estudios realizados las mejores formas, es decir, las mejor articuladas y coloreadas, se convierten en mejores figuras que las figuras que parten de formas pobres. Es más fácil percibir una figura con formas adecuadas que una con formas dudosas. Si trasladamos esto al arte podríamos afirmar que es más fácil percibir los cuadros renacentistas que los cuadros cubistas.

Pero, ¿qué o cuáles son las mejores formas? Evidentemente debe haber una relación causal entre estructura, función del centro y periferia.

Se ha demostrado que la organización del campo visual dependía de dos series de factores, las fuerzas organizadoras dentro del campo y las diferencias anatómicas dentro del sector óptico, pues aunque la articulación puede ser producida por las partes periféricas del campo visual, el centro es superior en estos aspectos de organización.

Entonces, ¿cuál es la relación entre figura y fondo o centro y periferia?. Desde el

punto de vista de la biología hay que decir que el centro de la retina tiene un mayor número de receptores sensoriales, por lo que es más fácil que esté en mejores condiciones de percibir la figura o parte circundada que la periferia, la cual tiene un número menor de receptores y es más adecuado para percibir el fondo debido a su menor complejidad.

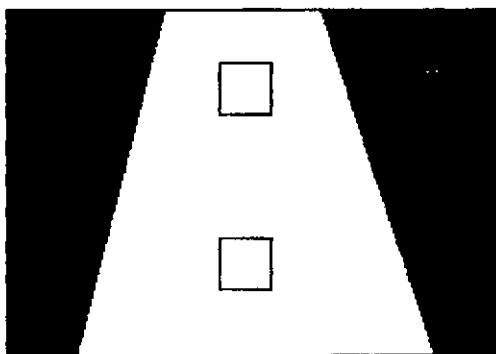
Otro factor a tener en cuenta es el hecho de que el campo visual no esté balanceado, es decir, que la organización figura-fondo no esté lo suficientemente articulada como para dar la posibilidad de que lo separemos claramente. Hemos visto que la circundación de una figura tiende a su organización, por lo que se dará, también, el caso contrario, es decir, que sea la propia organización lo que lleve a la circundación. Los ojos y la cabeza se mueven continuamente. El razonamiento más probable es que de esta forma situamos la figura más centrada con respecto a la retina ya que según afirmó Hornbostel, en Bruce y Green (1992, 247), *nosotros vemos las cosas, no los espacios que las separan*.

Hay que dar un punto a favor del empirismo ya que la experiencia influye en la articulación figura-fondo. Cuanto más experimentada tengamos una articulación más asequible es asimilarla y más sencillo es facilitar la percepción de algunas otras similares.

La conclusión más importante a la que podemos llegar es que toda organización perceptual es organización dentro de un armazón.

Toda organización debe tener una serie de constantes para que exista como tal. En la Psicología de la Gestalt se la denomina *constancias*.

Hay constantes importantes como es la *perspectiva*. En la figura que tenemos a continuación hay una carretera y dos cuadrados dentro de él exactamente iguales. Sin embargo, el que está más cercano a nosotros parece que es más pequeño que el que está más alejado. Si quisieramos dar la sensación contraria deberíamos haber dibujado el más alejado más pequeño. En esto consiste la perspectiva y, como sabemos del arte, hay que tenerla muy en cuenta.



Otra constancia a tener en cuenta dentro del armazón es la *localización*.

Hering afirma que “ cada punto de la retina tiene un par definido de valores espaciales, un valor de altura y otro de ancho, correspondientes a la dirección en que aparece cualquier punto si con la cabeza erguida se enfoca la vista en un punto infinitamente lejano en el centro de un plano horizontal que pasa a través de los dos ojos. Así, el centro de la retina tendrá el valor espacial “directamente adelante”; es decir, que los valores de ancho y altura son, en este caso, los nulos. Puntos situados arriba y abajo de la vertical tendrán un valor cero de ancho, pero valores de altura negativos y positivos, si positivo significa que ellos aparecen abajo, y negativo que aparecen arriba del punto directamente al frente. De igual modo los puntos situados a izquierda y a derecha del centro, sobre la horizontal, tienen un valor de altura cero, y valores crecientes de ancho hacia la derecha y la izquierda. Finalmente, en esta teoría, la cantidad total de la disparidad retiniana da a cada punto un valor de profundidad”.

Esta teoría defiende, en fin, que la retina tiene una especie de diagrama en el que cada punto del universo tiene asignado dos valores en x y en y, es decir, en las dos dimensiones. Para la Gestalt esto no es así. Ellos afirman que a los puntos retinianos no corresponden valores retinianos fijos, si no que se produce continuamente una localización dentro del armazón, la cual deja de existir al mismo tiempo que desaparece el armazón.

Toda nuestra experiencia está impregnada de la acción del armazón. Nosotros vemos líneas verticales, horizontales, oblicuas, etc, con la sola proyección de una línea o una hoja de papel sobre nuestra mesa,...; y las vemos tal y como son en la realidad.

Si me dedico a mirar los libros de mi habitación y veo las verticales el claramente de los bordes de los libros, porque coinciden con las verticales retinianas. Si giro la cabeza y miro oblicuamente terminaré teniendo la sensación de que esas mismas verticales, que si lo son en realidad, han dejado de serlo para pasar a ser oblicuas. Por tanto, La estimulación producida por una misma localización puede dar origen a distintas localizaciones e, inversamente, distintas estimulaciones puede dar lugar a una misma localización.

Nos encontramos, por tanto, ante dos problemas: el primero es que las líneas retinianas de una misma dirección dan lugar simultaneamente a líneas de conducta de distintas direcciones; y segundo , que las mismas líneas retinianas dan lugar, en condiciones distintas, esto es, en tiempos distintos, a diferentes líneas de conducta.

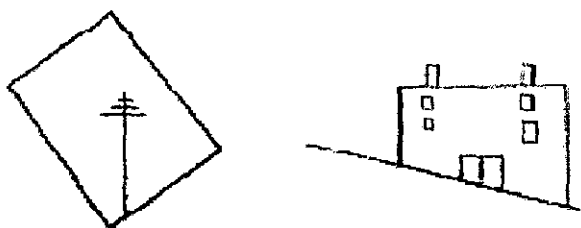
Lo que no se puede decir es que esas líneas, que constituyen la forma de los libros a los que estoy mirando, tienen vida propia, si no que pertenecen a la superficie de las cosas que delimitan y que son las que construyen nuestro espacio. Por lo tanto, no se puede construir un espacio perceptual a base de puntos y líneas, sino que hay que construir un todo que haga posible que el espacio visual sea un producto factible del

campo, es decir, tenga una forma, un fondo y un contenido, o lo que es lo mismo, el armazón por sí sólo no va l e para construir ese espacio visual que queremos crear.

Casi todos los mundos artificiales han sido confeccionados con objetos sacados de librerías informáticas. Estos objetos han sido creados a base de líneas: primero construyen el armazón y después le proporcionan una textura. El sentido de la vista no ve líneas para separar del fondo, si no que ve objetos que, uno a uno aísla del fondo. De este modo el grado de percepción va más allá de lo que nosotros pensamos a la hora de generar espacio artificial con los ordenadores. Dichos gráficos hacen su gran hincapié en la delimitación mediante líneas para su separación del fondo. Según la Gestalt esto es un gran error: no construyamos mediante líneas sino modelemos mediante objetos completos a base de figuras más complejas como cuadrados o círculos.

Además, hay que tener en cuenta que nos es más fácil percibir cuando las líneas principales de organización coinciden con las direcciones del espacio, sobre todo, con las horizontales y verticales. Pero esto no quiere decir que con las demás orientaciones no podamos percibir. El problema es que si estamos mirando a un espejo inclinado vemos el mundo inclinado porque nuestras orientaciones en la vida real se basan en horizontales y verticales y, sólo, pasado un tiempo somos capaces de percibir ese mundo desnivelado con total normalidad, es decir, sin que nos parezca extraño.

El armazón visual, por tanto, es un armazón tanto para el yo como para los objetos en el ámbito de la conducta. Esto se demuestra haciendo dos dibujos sobre la misma pared de la misma habitación pero con una posición un poco distinta de un dibujo a otro. El resultado no será el mismo en ambos dibujos, sin embargo, la habitación es la misma y nuestro comportamiento con respecto a él también será igual.



Otra característica del armazón es que el armazón será tan constante como las condiciones lo permitan. Como ejemplo de esto podemos poner el mirar unos árboles a través de la ventanilla de un tren mientras estamos subiendo una cuesta. Nos parecerá que están totalmente verticales y que es el vagón el que está inclinado. El marco de la ventana es el armazón en este caso a través del cual miramos el paisaje. Si está

inclinado dicho almacén nos debería parecer que el árbol también está inclinado. Esto no ocurre porque hay *invariables* como el ángulo entre la tierra y el objeto que está fuertemente ligado, es decir, tomamos como referencia la tierra aunque el almacén, en este caso, sea la ventanilla del tren. Pero, por el mismo motivo, si la tierra está inclinada y miramos a una casa al fondo nos puede parecer que es la casa la que está inclinada. El gráfico de este ejemplo sería el que tenemos en esta misma hoja.

Si para localizar un sonido lo que hay que tener en cuenta es la diferencia de tiempo con que la onda sonora ataca a los dos oídos, siendo localizado el sonido delante de nosotros cuando la diferencia es de 0, ver un almacén en todas las posiciones y sacar la tridimensionalidad es bastante complicado. Lo normal se convierte en lo más frecuente a causa de su normalidad con respecto a los ejes del espacio según hemos visto antes, pero no por la máxima frecuencia con la que se da el proceso. Esto explica la constancia relativa de la dirección, tamaño y forma de los objetos que percibimos.

Una vez tratado con más profundidad el tema del almacén, vamos a pasar a estudiar las constantes que lo forman en algún modo.

Empecemos tratando la *constancia de la forma*.

Si estamos en condiciones paralelas, por ejemplo, que suelen ser óptimas la imagen retiniana de un cuadro dará lugar a la percepción de un cuadro. Pero, ¿porqué se produce esto?. La respuesta más segura es que la figura es muy simple y percepción en condiciones simples siempre se produce de forma sencilla y natural. Si la figura estuviera deformada se parecería a otra forma que no sería tan simple como el cuadrado y la percepción se produciría, en principio, de un modo más dificultoso. A la hora de la verdad esto no es así y esta forma deformada también se percibe de una manera muy "real", lo que significa que la forma, así como el tamaño y el color, presenta el fenómeno de la constancia relativa; es decir, que los diferentes preceptos que han sido producidos por el mismo estímulo distante varían mucho menos que los correspondientes estímulos o lo que es igual, los datos que nos proporciona la estimulación del objeto en sí varía menos que los producidos por las excitaciones de luz en nuestro sistema visual. Dichas constancias, por tanto, hacen que veamos objetos que no son como que son, esto es, un círculo mal dibujado en un papel lo podemos asociar como un círculo, aunque no lo sea realmente según la definición geométrica de círculo, pero si nos recuerda a lo que nosotros hemos sentido como círculo (estimulación distante).

Podríamos plantearnos, por consiguiente, el saber qué forma, tamaño y brillo corresponden a un determinado patrón de estimulación local en unas determinadas condiciones. Si obtenemos la respuesta, ante esas condiciones siempre sabríamos lo que fuera a acontecer. En realidad virtual saber esto nos podría ahorrar mucho trabajo de estimulación ya que si queremos estimular al navegante con una determinada forma para que reaccionara de un modo particular podríamos llegar a estudiar las constantes de

la situación y plantearlas en ese determinado ciberespacio. No obstante, yo creo que cada persona tiene unas determinadas características y nunca se puede generalizar, por lo que habría que hacer determinadas modificaciones en las constancias para cada persona.

No obstante, se ha descubierto que el efecto provocado por el patrón de estimulación tiene dos aspectos o componentes, a saber: la forma y la orientación.

Si tenemos dos líneas, una situada a una distancia más lejana que la otra, la primera nos parecerá más pequeña que la segunda. Si tenemos dos formas iguales que estimulan nuestra retina y nos hace ver dos cosas diferentes, la solución radica en que tienen diferentes orientaciones. Pero esto, lógicamente, no ocurre en todos los casos.

Hay fuerzas dentro del campo que tienden a distorsionar la forma retiniana; también hay fuerzas impuestas por esa forma retiniana, las cuales son las fuerzas internas y las fuerzas producidas por la estimulación próxima. Las fuerzas dentro del campo con las impuestas por la forma retiniana luchan continuamente. Si se produjera un equilibrio de fuerzas, Bruce y Green (1992, 275) han comprobado que *cuanto más parecida sea la forma percibida a la retiniana, menos semejante será a la forma real. Esto significa, naturalmente, que en una determinada combinación de forma y orientación es invariable para una forma retiniana dada.*

Con una verificación experimental de esta hipótesis comprobamos que:

- 1) la "constancia" no es, por lo general, perfecta.
- 2) la constancia disminuye con el ángulo de orientación
- 3) cuanto más se desvíe la figura real de la posición anterior paralela, más parecerá estar orientada anormalmente.

Nuestra conducta ante una imagen retiniana depende, por tanto, de la orientación que da origen a la misma. Según esto, la constancia será mayor cuanto más se aproxime a la orientación perfecta, es decir, a la real.

Cuando se construyen ciberespacios las figuras o los espacios tienden a ser bastante imaginativos, poco similares a la realidad salvo en casos como aplicaciones de arquitectura, por ejemplo. Lo que se provoca con esto es una falta de realismo. En nuestro mundo forma y orientación que son percibidas, de esye mod, por nosotros. Si al crear un mundo artificial hacemos que todas estas constancias queden reducidas a cero, lo único que provocamos es un grado de irrealidad bastante elevado en nuestro mundo artificial. Debemos recurrir siempre a constantes a la hora de crear entornos. Dichas constantes deben estar íntimamente relacionadas con el medio que queramos simular de un modo artificioso.

La *constancia del tamaño* es el siguiente punto.

Eissier descubrió, para la constancia de la forma, que son bastante importantes el paralaje binocular y la disparidad reiniana, mientras que la buena articulación de las

figuras centrales tanto como las circundantes era poco significativa. Además descubrió que los diferentes criterios de profundidad pueden sustituirse uno por otro sin cambios esenciales en el efecto.

La constancia varía directamente con la organización del espacio, pero la disparidad tiene una influencia mucho más débil sobre el tamaño que sobre la forma, hecho que tanto Eissier como Holaday explican por la circunstancia de que la organización de la profundidad debe ser mucho más fina para la constancia de la forma que para la del tamaño.

Se suele tomar como factor de tamaño el hecho de la proximidad entre objetos. Pero la proximidad no es el único factor determinante de tamaño. H. Frank hizo un experimento en el que comparaba dos objetos, uno ubicado cerca y otro ubicado lejos. Comprobó que dentro de ciertos límites la constancia se mantiene y el objeto parece igual a uno o dos metros. Si acercamos el objeto a una distancia menor que esta, la tensión de la musculatura del ojo disminuye para la acomodación y convergencia produciéndose también una pérdida de energía en el campo visual. Combinando estos dos factores el resultado es que el objeto se agranda en el campo hasta compensar la disminución del objeto en la retina provocada por la falta de tensión en la musculatura del ojo.

Pero si comparamos un cuadrado con otro igual que sea un punto de referencia, observaremos que si está detrás el primer cuadrado parece mayor que el segundo y si está delante parece menor. Esto significa que la energía de la acomodación-fijación de la que habla Frank contribuye en una pequeñísima parte a la constancia.

Según estudios el desarrollo de la constancia a lo largo de la edad no se produce, por lo que dicho desarrollo debe ser atribuido, a priori, a un factor externo.

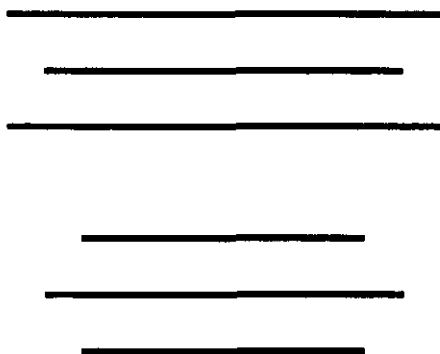
En resumen, Bruce y Green (1992, 235) afirman que *la misma imagen retiniana da origen a un tamaño de conducta más pequeño cuando el objeto es visto más cerca que cuando se ve más lejos (hecho que sirve de base a la constancia del tamaño)*. El siguiente punto es el de la *constancia de la blancura*. Se ha intentado explicar esto mediante dos teorías opuestas: la primera en la que se omitía totalmente la constancia y, la segunda, en la que se explicaba por medio de la constancia y, más concretamente, por medio del concepto del color de la memoria. Ninguno de estos dos extremos es totalmente válido ya que los dos, en cierta medida, se complementan. Un mismo blanco no es igual en una ventana que en una sombra. Lo que les diferencia es el distinto brillo. Si dos estimulaciones próximas iguales producen dos superficies de diferente blancura, estas superficies tendrán también brillos diferentes; la más blanca será la menos brillante; la más oscura, la más brillante.

Por lo que dos estímulos próximos que sean iguales en cuanto al tamaño y a la intensidad de luz, pueden dar origen a dos objetos que se perciban de modo distinto

según las funciones grande y pequeño o blanco y negro.

Con un mismo objeto podemos provocar dos estimulaciones distintas simplemente variándolas el brillo. La aplicación de este punto a la creación de ciberespacios nos ahorraría mucho tiempo de procesado ya que sólo haría falta variar un parámetro del objeto, cosa bastante fácil y, sobre todo, rápida, para poder generar una sensación en el cibernauta de que está en dos entornos distintos. El cambio de escenario: pasar del día a la noche, estar en un lugar poco iluminado a un lugar iluminado, etc., es algo que se puede variar cambiando exclusivamente el brillo del escenario. Más adelante se citan dos ejemplos que da Hering sobre este mismo punto.

Al igual que, como vemos en el gráfico, se puede crear la sensación de que dos líneas iguales pueden resultar de diferente tamaño colocándole por encima y por debajo dos líneas de diferente longitud, se puede transformar el efecto de una estimulación local de negro en blanco, cambiando simplemente el desnivel de intensidades sobre la retina.



Hering pone dos ejemplos al respecto: las ventanas parecen oscuras cuando las lámparas iluminan la habitación, pero cuando apagamos la luz, las ventanas parecen mucho más claras; el segundo consiste en colocar una pantalla blanca con un agujero frente a una pared blanca bien iluminada. Al principio la pantalla parece oscura en relación al agujero, pero si proyectamos una luz sobre la pantalla de más intensidad que la de la pared, el agujero se vuelve oscuro.

Una teoría completa sobre el problema de la constancia de la blancura debería responder a las siguientes preguntas: ¿en qué condiciones aparecerán de diferente blancura pero de igual brillo (o "iluminación") las partes correspondientes del campo de conducta (perceptual)?, ¿cuándo parecerán de diferente brillo pero de igual blancura?

Las respuestas, según Koffka, están sujetas al hecho de que las cualidades de los objetos percibidos dependan de los desniveles de la estimulación, teniendo en

cuenta que no los dos desniveles son igualmente activos con respecto a la apariencia de una parte particular del campo, antes bien el resultado depende de la comparación entre dos desniveles distintos que actúen en un mismo campo.

Por último vamos a ver la *constancia del color*.

La constancia del color es menos perfecta que la constancia del brillo.

El color neutro es el que sirve como nivel del color, siendo fondo general el que determina el nivel, por lo que dicho nivel aparecerá según las condiciones del fondo. Hay que añadir el concepto de *principio del cambio de nivel*, que consiste en que entre la máxima saturación del color y la mínima saturación del complementario pueden existir todos los colores. Con estos dos puntos de partida ya se puede establecer una teoría, pero hay que profundizar un poco más.

La variación de la luz reflejada en un cuerpo por un cambio de iluminación, depende de la constitución de la luz arrojada sobre él y de la capacidad selectiva de su propia superficie. Por consiguiente, dos luces aparentemente del mismo color pueden producir radiaciones muy diferentes reflejadas desde una misma superficie, y la misma luz puede ser reflejada con una composición diferente desde dos superficies, que aparentan ser iguales bajo la iluminación neutra.

Si nos ponemos dos cristales amarillos delante de nuestros ojos el paisaje se tornará cálido, pero si los cristales son azules, el mismo paisaje se habrá convertido en frío y desolado. Hasta ese punto puede llegar la importancia del color.

Si tenemos una sombra azul y la rodeamos con una luz amarilla, el azul de la sombra dejará de verse como tal, justo en la misma proporción en que vayamos aumentando de intensidad el amarillo que le rodea. Habrá, por tanto, dos campos, el interno y el circundante entre los cuales se producirá el contraste. El contraste depende de las condiciones retinianas así como de la organización espacial, por lo que hay contraste cuando dos superficies están en un mismo plano y no lo hay si están en distinto plano. La propia transparencia es un factor de organización espacial y exige el cumplimiento de determinadas condiciones configurativas.

Como conclusión deberíamos decir que las constancias (forma, tamaño, blancura y color) son fundamentales en el hecho perceptivo, pues son la característica fundamental de todo campo visual. Pero nosotros no vemos figuras bidimensionales ni estáticas, que es lo que hemos tratado hasta ahora. La tercera dimensión y el movimiento son la parte fundamental de la percepción y, también hay que decir, la parte más complicada a la hora de crear gráficos que "engañen" los sentidos del usuario y tomen la imagen como verdaderamente real.

Hemos aprendido con el estudio de las constancias que los diferentes aspectos de nuestro mundo visual, a saber, tamaño, color, forma, orientación y localización, están en una completa interdependencia mutua. La alteración de uno de ellos varía los

parámetros de todos los demás.

Con lo que estamos viendo en el estudio de la percepción desde el punto de vista biológico se llega a la misma conclusión: la interdependencia mutua. Aunque el cerebro tenga partes especializadas en cada proceso de la percepción, la lesión o alteración en una parte del mismo provoca diferentes resultados a los reales en el hecho perceptivo. Esto se sabe gracias a problemas como el daltonismo, etc. En ambas disciplinas esta subdivisión nos conduce a un proceso final que engloba todo: la percepción humana.

Como último punto de este análisis de la percepción según la teoría de la Gestalt, abordaremos el tema de la organización tridimensional. Como punto de partida hay que tener bastante claro lo que significa e influye la *disparidad retiniana*, puesto que aunque la organización tridimensional no sea creación exclusiva de la disparidad retiniana sí desempeña un papel esencial en la misma, pues es un factor clave de la organización.

El fenómeno de la disparidad está en estrecha relación con el procesado en el cerebro de las imágenes. Si tenemos dos figuras que están muy próximas, se atraerán una a otra y, al mismo tiempo, aparecerá un punto único más lejos o más cerca que el otro.

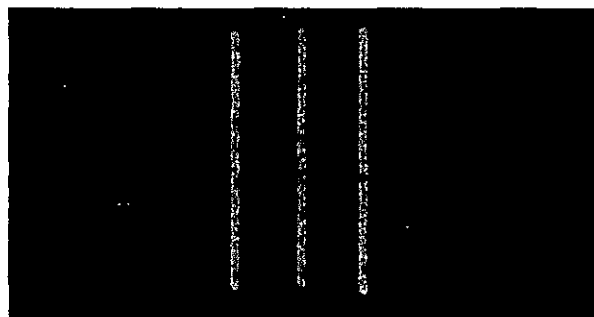
Los factores de organización hacen que nosotros percibamos un todo y no sólo las partes; por ejemplo, si tenemos una línea hecha a base de puntos sucesivos con muy poca distancia entre ellos, percibiremos la línea en total y no los puntos por separado. Estos factores también deciden si son las partes idénticas o las dispares las que obran recíprocamente.

Ya vimos, cuando abordábamos el tema de las líneas y puntos, que perceptivamente no se puede construir un espacio a base de líneas y puntos ya que no resultaría nada creíble para los sentidos. Esta afirmación se confirma con lo ya visto en la disparidad retiniana., es más creíble, sensitivamente hablando crear una casa en un espacio virtual a base de un cubo y un triángulo, es decir, figuras perfectamente definidas, que crearlo a base de líneas. Nuestros sentidos lo percibirían peor en el último caso.

Se ha hablado desde siempre de la relación entre profundidad y disparidad retiniana. Esta relación es totalmente falsa, según Koffka, y para probarlo hizo el siguiente experimento. Se colocaron dos hilos verticales paralelos en un mismo plano y un tercero entre medias de ambos y en un plano posterior, lo que podría dar, a priori, la sensación de que estábamos ante una especie de prisma. Esto es así cuando la habitación está iluminada, pero si apagamos la luz e iluminamos los hilos la figura se achata de tal modo que parece como si los tres hilos estuvieran en un mismo plano, por lo que habría desaparecido total mente la sensación de profundidad. Esto se explica viendo que en una habitación iluminada los hilos están en una determinada relación espacial por lo que tienen que luchar con fuerzas más dispares provenientes de

los distintos objetos, por lo que las fuerzas en la zona de combinación están más claramente definidas y es más fácil el proceso de la profundidad al anularse dichas fuerzas. Sin embargo, en una habitación totalmente a oscuras salvo por los hilos iluminados no hay más fuerza que la de los hilos y su determinada orientación en la relación. Las fuerzas que llegan a la zona de combinación no es más que una por lo que no tiene porqué anularse y, de este modo, no se produce el efecto de la profundidad.

Lo que podemos comprobar en los siguientes dibujos. Como se puede apreciar el primero es un cuadro y el segundo es un fondo negro para la sensación de total oscuridad. Ambos tienen tres líneas que simularán los tres hilos iluminados del experimento de Koffka. Como vemos en el primer dibujo las líneas dan una sensación de profundidad mayor que en el segundo, que al tener el fondo negro parece como si las tres líneas estuvieran en un mismo plano. Si hicieramos resaltar más las líneas del fondo –pintándolas de color verde fosforito, por ejemplo- comprobaríamos que el efecto de profundidad en el primero y de no profundidad en el segundo dibujo es más destacable.



Otro aspecto importante del que hay que hablar cuando se aborda el tema de la tridimensionalidad, es el de la *anisotropía del espacio*.

Si el espacio de conducta es anisotrópico implica que las propiedades de ese espacio varían según las diferentes direcciones. No obstante, hay que distinguir dos aspectos importantes. El primero es que la organización de figuras y cosas crea tensiones que afecta al campo circundante; la segunda es que el espacio anisotrópico por sí mismo, determina la organización de las figuras y cosas dentro de él.

El espacio no es exacto en todas sus orientaciones. Ni si quiera la vertical es perfecta en el espacio, sino que es una desigualdad existente entre la dirección vertical y la dirección horizontal. Esto es lo que se llama *anisotropía de las dos primeras dimensiones*. Ejemplos ya probados son que si una figura se expone por un período corto de tiempo, la figura aparece por un movimiento de expansión y desaparece por un movimiento de contracción, siendo ambos movimientos generados por la dinámica de organización de la propia figura. Lindemann y Newman descubrieron que el movimiento de un cuadrado es más marcado en el eje horizontal que en el vertical. Después, el primero descubrió que ocurre lo mismo para círculos esféricos y para elipses. J. F. Brown descubrió que dados dos movimientos iguales, uno en la dirección vertical y otro en la horizontal, el primero parece tener mayor velocidad. Oppenheimer descubrió que la vertical constituye la principal estructura de referencia para los objetos en movimiento.

Este es un factor de aplicación muy importante en la realidad virtual. La simulación del espacio es crucial para dar realismo a la imagen ya que es la relación entre el espacio y el tiempo lo que propicia el movimiento. De acuerdo con los ejemplos de anisotropía anteriores si queremos dar velocidad a un objeto debemos crear el ciberespacio de tal modo que dicho objeto adquiera velocidad en el sentido de la vertical. Si queremos quitar referencias de movimiento hagamos que en el ciberespacio predominen las horizontales y no las verticales para quitar así puntos de referencia. Todo esto deberían ser pequeños trucos a utilizar que darían mayor realismo a la imagen no a través de máquinas potentes que son capaces de generar mayor resolución en menos tiempo, si no que el realismo se adquiere atacando directamente a la percepción, es decir, partiendo de la percepción humana generamos los gráficos y no al revés.

Hay un tipo especial de anisotropía que es la *anisotropía tridimensional*.

La anisotropía del espacio se hace más evidente cuando consideramos la mayor extensión de superficie posible.

Gracias a experimentos que han medido fenómenos de anisotropía se ha podido estudiar la tercera dimensión de una forma más lógica, llegándose a una serie de conclusiones que hasta ahora no han podido ser rebatidas. Dichas conclusiones comienzan afirmando que las tres dimensiones no pueden ser equivalentes ya que bajo ningún concepto la tercera dimensión es equivalente a las otras dos. Además, la tercera dimensión manifiesta anisotropía en sí misma, en igual grado que la organización

difiere con la distancia del objeto considerado. Hay que tener en cuenta la agudeza visual que es mayor a pequeñas distancias (medido en ángulos visuales) que a grandes distancias. La tercera dimensión también tiene otra ilusión anisotrópica en cuanto a la relación cénit-horizonte. A medida que vemos un radio mayor de paisaje la relación en horizontal se hace mayor con respecto a la vertical. Esto puede ser debido al achatamiento de la Tierra o a que nosotros nos movamos por la misma en la dirección horizontal, ya que según algunos experimentos ocurre lo contrario con los animales trepadores. Lo cierto es que influye a la hora de que nosotros percibamos el horizonte.

La anisotropía del espacio perceptual debe estar en estrecha relación con la constancia del tamaño y de la forma y, por ende, con la constancia de las cosas. En cuanto a la constancia de la forma, Bruce y Green (1992, 328) añaden que *una línea retiniana parecerá más corta cuanto más equidistante del observador aparezca la longitud total*. Esto es algo que nos permite un conocimiento más verdadero de la realidad.

Pasemos al tema del *movimiento percibido* como último punto de estudio en la Gestalt, una vez sacadas ya las conclusiones sobre la tridimensionalidad.

Hasta ahora el patrón elegido era de objetos en reposo, pero hay que tener en cuenta que esto no ocurre casi nunca ya que, incluso, cuando estamos ante objetos en reposo nuestros ojos crean el movimiento pues van fijándose de un sitio a otro en pequeños intervalos de tiempo. No existe, en este caso, alteración en el patrón retiniano, pero cuando me fijo en objetos en movimiento el patrón retiniano está cambiando continuamente.

Köhler, en Bruce y Green (1992, 330), enuncia como principio general de la teoría del movimiento *la correlación fisiológica del movimiento percibido (tanto visual como acústico y táctil) tiene que ser un proceso real de cambio dentro de los patrones fisiológicos totales*. El campo perceptivo, por tanto, nunca es homogéneo; incluso en la más completa oscuridad hay un arriba y abajo, una derecha y una izquierda, un delante y un detrás, y un punto que pasa por ese campo varía tanto su distancia a la fovea como su distancia a los distintos puntos que componen al campo. En resumen, para que haya movimiento se requiere la no-homogeneidad del campo perceptual y el desplazamiento de un punto por el mismo.

Duncker trabajó bastante sobre este tema. Deducimos anteriormente que el almacén es más estable que las cosas de su interior. Si lo aplicamos al movimiento es de suponer que si tenemos dos objetos en un campo y uno sirve de almacén del otro, el que esté de almacén estará en reposo más fácilmente que el otro. Duncker constató que si un objeto tiene más intensidad que otro, éste tiende a convertirse en almacén del segundo por lo que la tendencia al movimiento del primero será menor. Además la forma de los objetos determina el movimiento aparente del modo siguiente: si el desplazamiento relativo entre los dos objetos ocurre de tal modo que su dirección coincida con una de

las direcciones principales de un objeto, pero no con la del otro, el primero tenderá a ser visto moviéndose más lejos que el último. Por ende, el desplazamiento relativo no determina el objeto móvil si no que, en estas condiciones, determina la cantidad de movimiento.

Si se introduce un tercer objeto los efectos sobre el movimiento dependen de la clase y el grado de pertenencia entre ellos. Además siempre hay que contar con el YO del sujeto.

Pero debemos introducir el concepto del tiempo. Una mancha de luz que se mueve de un lado a otro está excitando a una fila de conos a medida que va pasando por dichos conos de la retina. Pero para que haya movimiento unos conos deben estar excitados y no excitados en un intervalo de tiempo determinado muy pequeño que variará según la velocidad a la que se mueva el punto.

En el movimiento real la distancia entre los procesos interactuantes es muy pequeño por lo que las fuerzas de atracción serán muy grandes, mientras que en el proceso estroboscópico la distancia entre procesos es relativamente mayor y las fuerzas mucho más débiles.

El movimiento tiene dirección y velocidad, tanto en la física como en la experiencia. Brown demostró con sus experimentos que la velocidad aparente de un objeto (que no es igual a la velocidad real) visto en movimiento, depende del campo y del tamaño, orientación y dirección del movimiento del objeto. También llegó a la conclusión, aunque esto no está totalmente comprobado, que las líneas gruesas se mueven más despacio que las líneas finas, y que el movimiento de las últimas es más suave. También dedujo que cuanto más marcado sea su carácter de figura, menor será la movilidad de un objeto.

Una forma de visión en la que está implicado totalmente el movimiento es la *visión estroboscópica*, la cual es definida por Bruce y Green (1992, 342) de la siguiente forma: *aparece un punto en A en el momento t_1 , durante cierto período de tiempo (e_1), y después de un intervalo p , aparece otro punto en B en el momento t_2 . Podemos decir que la velocidad estroboscópica objetiva es la velocidad que tendría el punto si anduviese de A a B entre los momentos t_1 y t_2 .*

Traducido a ecuaciones matemáticas:

$$V = \frac{AB}{t_2 - t_1},$$

$$t_2 - t_1 = e(1+p); V = \frac{AB}{e(1+p)};$$

$$Si s = AB; t = e(1+p)$$

$$V = \frac{s}{t}$$

No habría movimiento estroboscópico si tiempo (t) se hace demasiado grande, habría *sucesión*; o si se hace demasiado pequeña habría *simultaneidad*.

Hay una tercera ley que afirma que un aumento en espacio (s) o en t puede compensarse con un aumento en t o en s, sin tener en cuenta su relación cuantitativa.

Sin embargo, lo más sorprendente es que la función directa entre s y t no es de proporcionalidad, sino que t aumenta más lentamente que s.

La velocidad aparente es menor cuanto mayor sea el campo, y el aumento de la distancia que recorre un objetivo movido estroboscópicamente, disminuye su velocidad fenomenal. Consiguiente, cuando alteramos un sistema que produce un movimiento estroboscópico aumentando s , producimos dos efectos opuestos. Por un lado, sobre una base puramente cinemática, aumentamos la velocidad estroboscópica V, por el otro, reducimos el efecto de V sobre la velocidad percibida, porque los campos mayores tienen una velocidad aparente menor. Comúnmente, el segundo efecto no es tan fuerte como el primero, y por consiguiente, para compensar un aumento de s, también tenemos que aumentar t, aunque en un grado inferior.

También llegaron a la conclusión de que el tiempo transcurre más rápido en los campos menores, más oscuros y más próximos, y cuanto más vertical y menos horizontal sea el movimiento. Además de que las diferencias de brillo tienen un poder de organización más fuerte que las meras diferencias de color.

En realidad virtual el tiempo es algo fundamental. Se deben generar gráficos en tiempo real con una latencia mínima para que el navegante sienta la sensación de

continuidad. Quizás una forma de crear esta sensación sería, tal como se han visto en los experimentos aquí descritos, el hacer que los gráficos no fueran muy grandes, fueran oscuros, casi en blanco y negro, y los movimientos se den más en la vertical que en la horizontal. De esta forma los gráficos se deberán generar en tiempo real pero engañaremos al cerebro gracias a los estudios propios de la Gestalt que simulan el estado perceptivo del hombre.

Una vez concluido el análisis sobre la teoría de la Gestalt y antes de seguir abordando teorías posteriores, saquemos las conclusiones más importantes que definieron esta corriente. Podríamos enumerar las siguientes conclusiones como las más principales:

A) La distinción entre cosas y armazón es fundamental para el análisis del campo perceptual.

B) Las tres características principales de las cosas son:

- la delimitación configurada
- las propiedades dinámicas
- la constancia

C) La respuesta a un cambio de estimulación será tal que las cosas retengan sus propiedades tanto como sea posible. Las cosas permanecen quietas, según la constancia del movimiento, mientras movemos los ojos, ya que la forma de las imágenes retinianas cambian constantemente mientras que no cambia la forma de las cosas. Lo mismo ocurre con la constancia del tamaño y de la forma.

D) El cambio de iluminación objetiva produce primero un cambio de iluminación percibida (o brillo), pero no cambia las propiedades del color de las cosas percibidas.

E) La constancia de la forma y del tamaño se acopla a la movilidad, ya sea de las cosas o del observador. El hecho de que las cosas puedan moverse fenomenalmente y que el yo del observador sea, en este sentido, una cosa, hace posible que retenga su forma cuando cambian sus respectivas imágenes retinianas. Las imágenes son constantes aunque movamos la cabeza de un lado a otro. Inversamente, sólo es posible el movimiento porque se producen cosas perceptuales constantes en la alteración de las imágenes retinianas.

F) Los objetos fenomenales, como cosas, tienen propiedades precisas:

- resistencia a la distorsión
- impenetrabilidad

- inercia

G) La correspondencia entre las “cosas” fenomenales y las reales es producto del resultado directo de la organización.

“Psicofísicamente, las distribuciones de los procesos que corresponden a las cosas percibidas deben ser similares, en varios aspectos, a las cosas físicas, y, por ende, debemos concluir sobre la base del *isomorfismo* que las cosas de conducta tienen autónomamente características similares a las cosas reales”. Bruce y Green (1992, 357).

Se ha comprobado que las leyes de la Gestalt funcionan por sí mismas aplicándolas, por ejemplo, al estudio del camuflaje en los animales. El porqué funcionan estas leyes es algo sobre lo que se ha debatido mucho. La propia Gestalt indica que sus teorías funcionan gracias a las fuerzas cerebrales que se encuentran en el campo perceptivo. Marr, que más adelante trataremos en profundidad, afirma que se debe a que en la naturaleza no existen discontinuidades bruscas, los objetos suelen ser simétricos y pequeños en comparación a su entorno, por lo que un sistema perceptual que haga uso de esto se encontrará con soluciones correctas, a menos que se encuentre en una situación de camuflaje donde estas normas no valen.

Surgieron otros movimientos en psicología basados, sobre todo, en la corriente empirista. Asumían como punto de partida que la percepción era el proceso de interpretación o construcción de la realidad a partir de la información incompleta que proporciona la imagen retiniana. En las décadas de los 40 y 50, surgió el “*funcionalismo transaccional*”, que afirmaba que la historia de una persona era fundamental para su forma de percepción. También surgió la “*new look*” que fundamentaba las distintas capacidades o formas de ver, en las diferencias individuales con respecto a la motivación, emoción y personalidad.

En los años 60 se abrió paso una nueva “*psicología cognitiva*” cuyo principal objetivo era intentar descubrir los pasos intermedios entre el estímulo y la respuesta. Los ordenadores empezaron a revolucionar la sociedad hasta el punto que esta teoría enunció que el procesamiento de la información provenientes de los sentidos debía ser similar al procesamiento de la información en un ordenador. Es el verdadero origen de la inteligencia artificial, pues ya se pretendía construir un ordenador que viera como un ser humano. La *teoría de Marr* es el intento más sofisticado de explicar el procesamiento de la información en el sistema visual. Marr demuestra que se puede procesar una gran cantidad de imágenes independientemente de un conocimiento específico del mundo mediante la incorporación de los principios de la Gestalt a un modelo de procesamiento que revela las estructuras ocultas en los datos confusos que se obtienen a partir de las imágenes naturales. Para Marr una imagen es la intensidad sobre

una matriz de diferentes localizaciones que se crea a partir del reflejo de la luz en la estructura física que el observador está viendo. El objetivo del procesamiento será crear a partir de la imagen una descripción de las formas de las superficies, y sus distancias y orientaciones con respecto al observador. Para esto hay que crear distintas representaciones, siendo la primera el “el esbozo primario”, que describe los cambios de intensidad en la imagen y hace presente estructuras más globales. Partiendo de manchas y bordes (esbozo primario en bruto) se pueden descubrir estructuras mayores mediante procedimientos de agrupación. Si después analizamos la profundidad, el movimiento y el sombreado se puede llegar a lo que Marr denomina el esbozo primario en 2 1/2D, el cual describe la ubicación de las estructuras en el mundo según un simple vistazo. Pero la visión no concluye hasta que no reconocemos el objeto. Necesitamos, por tanto, subir otro nivel en la representación que, en este caso, ya se base en el objeto y no en el observador. Llegamos a la representación de la tridimensionalidad.

Marr, por tanto, basa su teoría en niveles de representación, cada uno de los cuales contiene una parte de la información de cada imagen retiniana, y en la que se concibe la visión como un cálculo de descripciones. El esbozo primario en bruto son barras, manchas, contornos, etc., a los que se les asocia distintos atributos del espacio visual, tales como contraste, longitud, anchura, orientación. A partir de esto se intenta recuperar la estructura global mediante el uso de *indicadores de lugar*, que se definen, por ejemplo, mediante la posición de una mancha. Después se produce un agrupamiento de indicadores siguiendo criterios tales la proximidad y la similitud. Dichos agrupamientos pueden ser de tres tipos: cambios en la densidad espacial (tres puntos, que son indicadores, se unen para formar un sólo punto más grande); agregación curvilínea (una línea de puntos suspensivos se une y forma una línea continua) y agregación theta, la cual, según Bruce y Green (1992, 210), *implica el agrupamiento de ítem orientados similarmente en una dirección que depende, pero difiere, de sus orientaciones intrínsecas*.

A Marr se debe el representar la información en forma de *pixels*, de tal modo que mide es el nivel de gris existente en la imagen. Es una representación sólo bidimensional de valores de intensidad de la luz, y supone una gran simplificación ya que sería equivalente a pensar que en la retina sólo existe la posibilidad de medir la luz de un determinado pigmento, por lo que se anularía el espectro de luz. Sin embargo, con la representación de la medida en forma de *pixels* ya podemos medir algo tan sumamente importante como es la intensidad y, si se consigue, abordar el tema del color por separado. Hay que tener en cuenta, no obstante, que los cambios de intensidad significativos dependen de los cambios de intensidad en la imagen natural. Esto significa que los cambios de intensidad pueden ser infinitos, por lo que hay que buscar algoritmos que puedan hallar un denominador común de trabajo. El algoritmo de Marr-Hildreth es una buena muestra de ello aunque ha quedado superado por el algoritmo

MIRAGE de Watt y Morgan.

Hechos como el solapamiento entre objetos o la profundidad se marcan por los indicadores de lugar y por las discontinuidades en los parámetros que describen la organización espacial de una imagen. El programa de procesamiento visual temprano de Marr funciona porque lo hace de un modo muy natural, agrupando las cosas que tengan las mismas características, tales como orientación, ya que es más fácil que en la naturaleza, las cosas que posean una misma orientación vayan unidas o, por lo menos, estén más próximas unas a otras.

Por los mismos años, Hochberg y Brooks dieron un paso adelante en la teoría de la Gestalt. Sostuvieron que a medida que la complejidad del objeto se acrecentaba el observador veía la figura como una representación bidimensional de una figura de tres dimensiones. Comprobaron que cuántos más ángulos tenía una figura más complejidad revestía en las dos dimensiones pero más probablemente se percibía como una representación de un objeto tridimensional. También observaron que si el número de ángulos de diferente tamaño era mayor y existía una gran discontinuidad en las líneas, más fácil era percibir el objeto como una figura en tres dimensiones. En cuanto a la ley de la proximidad de la Gestalt, constataron que cuanto más se agrupaban los elementos de dos regiones diferentes, menos visibles se hacían los límites.

Julesz llegó a la conclusión de que dos áreas distintas con una longitud de onda similar y elementos componentes parecidos son muy difíciles de delimitar la una de la otra. En cuanto a la percepción de la textura, Julesz inventó el término *textones* para designar a manchas alargadas con parámetros, como la proporción, apariencia u orientación, asociados unos a otros. Sugirió que dos objetos con un mismo número de textones no pueden ser percibidos como de distintas texturas. Julesz, por tanto, llegó a la conclusión de que el agrupamiento o similitud no se produce en cuanto a patrones - como indica la Gestalt- si no que se da entre elementos de brillo, longitud de onda y similitud de componentes o granulado.

De todos modos, concebimos el mundo como un todo, es decir, no vemos de manera independiente la forma respecto al movimiento, localización o color de un objeto. Se ha podido comprobar que esta unidad la concebimos gracias a que en nuestro cerebro hay al menos -puede haber más- tres caminos paralelos de procesamiento de información especializada, los cuales trabajan por separado pero llegan a un lugar de depuración final que nos dan un único resultado. Un camino se encarga de proporcionar datos sobre el movimiento, otro sobre la profundidad y forma y, el último, se ocupa del color.

Se debe estudiar en profundidad -en el caso de la realidad virtual es fundamental -, como se comporta la percepción humana ante la correspondencia existente entre un objeto que se mueve en el espacio y en el tiempo. Conociendo los nexos entre estos dos factores la visión tridimensional estará explicada.

Las investigaciones de Gordon Holmes y, posteriormente, de Wade Marshall y Samuel Talbot concluyeron que la relación espacial de los fotoreceptores en la retina estaba preservada en la corteza estriada, en una especie de mapas retinotópicos. En 1985, Zeki, John Allman, Jon Kaas y David Van Essen encontraron al menos otras 20 representaciones de la retina en la corteza extraestriada (el área que está fuera de la corteza estriada). Algunas de estas representaciones están completas, otras son sólo parciales. Hay sólo seis mapas retinotópicos en el lóbulo occipital. Además, la corteza parietal posterior contiene una zona que interpreta las sensaciones somáticas y visuales. Todos estos mapas difieren en la precisión con la que la retina es representada topográficamente y en las características del estímulo hacia el cual, las células, parecen responder. De esta forma, se procesa la información visual de una forma paralela según sus diferentes aspectos. Por ejemplo, la zona V5 trata el movimiento visual, mientras que la zona V4 se refiere más al color y a la orientación de los bordes.

Esta especialización es algo fundamental para el mejor procesamiento de los estímulos visuales. Teniendo controladas las zonas donde se produce el análisis de cada tipo de factor perceptivo es más fácil poder investigar el cómo ocurre dicho análisis. Una vez obtenidos los resultados se podrían aplicar a la construcción de gráficos, de tal modo, que atacáramos, según nuestro propio interés y dependiendo del tipo de aplicación virtual que estuviéramos construyendo, a unas zonas de un modo más eficaz que a otras para así obtener una simulación más válida y, poder así, engañar a nuestros sentidos.

Un hecho claramente demostrado es que en el proceso visual hay una serie de caminos paralelos desde la retina al núcleo geniculado lateral, luego a la corteza estriada y, finalmente, a la corteza extraestriada.

Un estudio más profundo nos indica que la retina contiene dos tipos de células ganglionales en la retina:

- células grandes TIPO M, las cuales no detectan color.
- células pequeñas TIPO P, que detectan el color, es decir, discriminan entre los tres tipos de conos y proporcionan la señal de información sobre el color.

Margaret Wong-Riley, Johnathan Norton, Margaret Livingstone y David Hubel encontraron una unión de conexión entre las capas parvo y magnocelular en el núcleo geniculado lateral y diferentes mapas retinotópicos en la corteza. Wong-Riley y Norton mancharon la corteza estriada por la enzima mitocondrial citocroma óxido, y encontraron unas zonas de oscuridad precisas y repetitivas de alrededor de 0.2mm de diámetro. Se las llamó *regiones blob*, y son especialmente prominentes en las capas superficiales 2 y 3, donde están separadas por regiones intermedias que "manchan" la luz; a estas zonas se las llama *regiones interblob*. Livingstone y Hubel siguieron con

estas investigaciones y trazaron tres caminos que se proyectaban desde las células de las diferentes capas del núcleo geniculado lateral hasta la corteza estriada. Dos de estos caminos terminaban en las capas superficiales, incluso en las regiones blob e interblob; el tercer camino termina en capas más profundas.

En la corteza estriada se unen los tres caminos que terminan en el V1 y las zonas de la corteza extraestriada que, además, parecen formar sistemas que parecen procesar distintos tipos de información visual.

El *sistema magnocelular* está especializado en el movimiento y en las relaciones espaciales. También contribuye a la visión estereoscópica. Las neuronas de este sistema responden rápidamente a los estímulos pero de una forma superficial. Son relativamente insensibles al color y casi no corresponden al contorno o borde discernible, tan sólo en la base del contraste de color. El sistema está ideado para detectar el movimiento de los objetos y la organización tridimensional de los mismos. Este sistema tiene una capacidad limitada para la percepción de la profundidad, siendo pobre para analizar objetos estacionarios.

El *sistema parvocelular-interblob* está especializado para la detección de la forma (y algún grado de color). Las neuronas en este sistema son más sensibles a la orientación de los bordes, y hay que tener en cuenta que los bordes dan mucha información sobre la forma de un objeto. Este principio perceptivo nos puede ahorrar mucha memoria de ordenador a la hora de hacer o diseñar gráficos para Realidad Virtual. Si hiciéramos más hincapié en los bordes nos podríamos ahorrar información en el modelado de texturas perfectas que, puede, no proporcionan ninguna información al cerebro que los bordes no le hayan dado previamente. Siguiendo este principio obtendríamos, también, una mayor velocidad en la generación de gráficos en tiempo real. Estas neuronas, además, están bastante adaptadas a la alta resolución, la cual es bastante importante, probablemente, para ver los objetos estacionarios en detalle.

El *sistema parvocelular-blob* está especializado en el color. Tanto el sistema parvocelular-interblob como el sistema parvocelular-blob terminan dentro de la corteza temporal inferior.

Ramachandran y Richard Gregory definieron como *estímulo equiiluminante* a aquel que sólo varía en color pero no en luminancia. Un borde entre dos colores equiiluminantes tiene un alto contraste pero no tiene contraste de brillo. En teoría el sistema magnocelular responde al color gracias al contraste entre dos colores, pero con un estímulo equiiluminante reduciremos drásticamente la posible percepción de color del sistema magnocelular, por lo que según Ramachandran y Gregory la percepción del movimiento desaparece en la equiiluminancia. Esto indica que el movimiento se procesa independientemente de la información de color y que si, por ejemplo, en un escenario virtual queremos que algo que esté en movimiento se pare podemos camuflarlo haciéndolo estímulo equiiluminante con respecto fondo, por ejemplo.

Livingstone y Hubel aplicaron este proceso de equiluminancia a distintos atributos de la percepción visual (perspectiva, tamaño relativo de los objetos, percepción de la profundidad, relaciones figura-fondo, ilusiones visuales, . . .) y encontraron que muchas de estos aspectos desaparecen en situaciones de equiluminancia. Estos autores propusieron, basándose en la teoría de la Gestalt, que al separar la figura del fondo organizamos los componentes de la escena visual en grupos coherentes. Cualquier objeto de la escena visual tiene un particular estado de valores de profundidad, brillo y textura.

En resumen, cuando un objeto de la escena visual se mueve, una parte de estos elementos tomará una determinada dirección y velocidad en el sentido del movimiento. Esto varía según el tipo de objetos. Para el análisis del color nosotros necesitamos alta resolución, pero para el análisis de la profundidad, brillo y textura puede ser analizado a baja resolución. La habilidad para discriminar figura del fondo, para unir partes de una escena y percibir correctamente las relaciones espaciales pueden ser todas mediatizadas por el sistema magnocelular, que ve la imagen entera y sus movimientos a baja resolución. El sistema parvocelular no se refiere tanto al movimiento sino a los detalles finos y color de la escena y según Schiller el estímulo equiluminante podría reducir la actividad del sistema parvocelular, pero los dos caminos parvocelulares son necesarios para la visión estereoscópica.

Como hemos podido comprobar antes esto es así ya que, incluso, hay evidencias psicológicas que llevan a la idea de que caminos separados llevan información visual diferente. Las evidencias clínicas enlazan, también, con el proceso paralelo de la información visual.

Sigmund Freud, en Kandel (1991, 448), concluyó que *la discapacidad de ciertos pacientes para reconocer los objetos visuales no era debido a una deficiencia sensorial periférica si no a un defecto cortical (de la corteza) que afecta la habilidad de combinar los componentes de las impresiones visuales en un modelo completo. A estos defectos Freud los llamó agnosias.*

La única conclusión sobre el movimiento y la profundidad en el campo visual a la que hemos llegado hasta ahora es que es analizado por un sistema neuronal especial, además de que su estudio exige un cálculo de las imágenes desplazadas tanto en el espacio como en el tiempo.

Normalmente nos movemos a través del mundo que percibimos. El comportamiento adecuado requiere que recibamos información precisa sobre el movimiento de objetos. Incluso cuando nosotros mismos o los objetos que nos interesan están parados, para nuestra retina es como si estuvieran en movimiento ya que los ojos y la cabeza nunca están completamente quietos.

El sistema visual tiene dos formas de detectar el movimiento:

- a) una relacionado con el movimiento de la imagen

b) otra relacionada con el movimiento de la cabeza y ojos.

La detección del movimiento de la imagen es tan importante para el comportamiento adaptativo en los animales, que sólo los humanos y otros primates evolucionados pueden responder a los objetos que no se mueven. Nuestra evolución en este aspecto es tan importante que debido al hecho de que en los extremos de la periferia del campo visual no podamos detectar el movimiento, movemos el ojo para hacer que ese objeto que se mueve ocupe el centro del campo visual. No nos hace falta mover la cabeza, tan sólo el ojo y conseguimos toda la información que nos pueda proporcionar el objeto en cuestión.

El movimiento en el campo visual es detectado comparando la posición de las imágenes grabadas en diferentes tiempos. La mayoría de las células en el sistema visual son extremadamente sensibles a la posición retinal y pueden resolver acontecimientos separados en un tiempo de unos pocos milisegundos. En principio, el sistema visual debería ser capaz de extraer la información necesaria procedente de la posición de la imagen en la retina comparándolo con la localización previa de un objeto con su actual localización.

En resumen, un apropiado comportamiento visual requiere que recibamos información precisa sobre el movimiento de los objetos. Hemos visto que los objetos siempre están en movimiento porque ojos y cabeza siempre se están moviendo. En los extremos del campo visual no detectaremos movimiento, pero hacemos que nuestros ojos se giren para verlo. No somos capaces de identificar un objeto en los extremos del campo visual pero notaremos su movimiento. Cuando cesa su movimiento, su percepción también cesa.

De este modo, si en la realidad virtual no situamos ningún objeto en el extremo de la periferia del campo visual, no provocaremos que nuestros ojos se giren a ver el objeto; de este modo nos ahorraremos información en el procesado.

Pero, ¿cuál es la evidencia para un subsistema neuronal especial especializado en el movimiento? La evidencia inicial para un mecanismo especial diseñado para detectar el movimiento independientemente de la posición de la retina llegó de las observaciones psicofísicas, propias de la Gestalt como hemos visto, sobre el *movimiento aparente*. Es lo que podemos llamar ilusión de movimiento, tal como ocurre cuando luces separadas en el espacio alternativamente se apagan y encienden en intervalos apropiados. La percepción del movimiento de objetos que no cambian de posición, sugiere que la posición y el movimiento están señalados por caminos separados.

El movimiento es representado en el Area Temporal Media (V5) y en el Area Temporal Medio Superior (V5a) del cerebro. El camino celular se origina en las células retinales ganglionares tipo M. Las señales procedentes de estas células van a través de las capas magnocelulares del núcleo geniculado lateral hacia la capa 4C en la capa VI

del cerebro, desde allí van hacia las capas 4b y 6, después hacia V2 y V3 . Esto ya es la zona medio temporal del cerebro y desde aquí las señales se dirigen a la zona media superior temporal y al área visual motor del lóbulo parietal. Las células tipo M no están especializadas en el movimiento pero responden muy bien a los objetivos cuyo contraste varía con el tiempo. Pero hay células especializadas en la captación de la dirección del movimiento. La información que sale de todos estos procesos es utilizada para guiar el movimiento de los ojos y mover el cuerpo a través del entorno.

Pero, ¿cómo está representado el movimiento en el cerebro?. El movimiento en el campo visual puede ser percibido de dos formas. La primera es cuando los ojos están quietos y la imagen de un objeto en movimiento atraviesa la retina. La información sobre el movimiento llega al cerebro a través de la iluminación secuencial de receptores en la retina. Si los ojos siguen a un objeto y la información sobre el mismo recae en un punto de la retina, dicha información es llevada al cerebro a través de un movimiento de los ojos o de la retina. El movimiento de los ojos es vital para la percepción del tiempo ya que cada vez que se produce una variación en la imagen retinal se constata una variación temporal. Para saber si somos nosotros o es el objeto el que se está moviendo, el cerebro compara la información de la retina con las órdenes enviadas a los músculos que mueven el ojo, no influyendo esta comparación, en ningún caso, en la propia percepción del movimiento.

Con un objeto simple unidimensional como un borde o una línea que se mueve paralelamente a su propia orientación, percibimos la dirección del movimiento sin ningún tipo de ambigüedad. Sin embargo, en nuestra experiencia de todos los días encontramos superficies complejas de dos y tres dimensiones que realmente son ambiguas. Movshon construyó la siguiente figura:

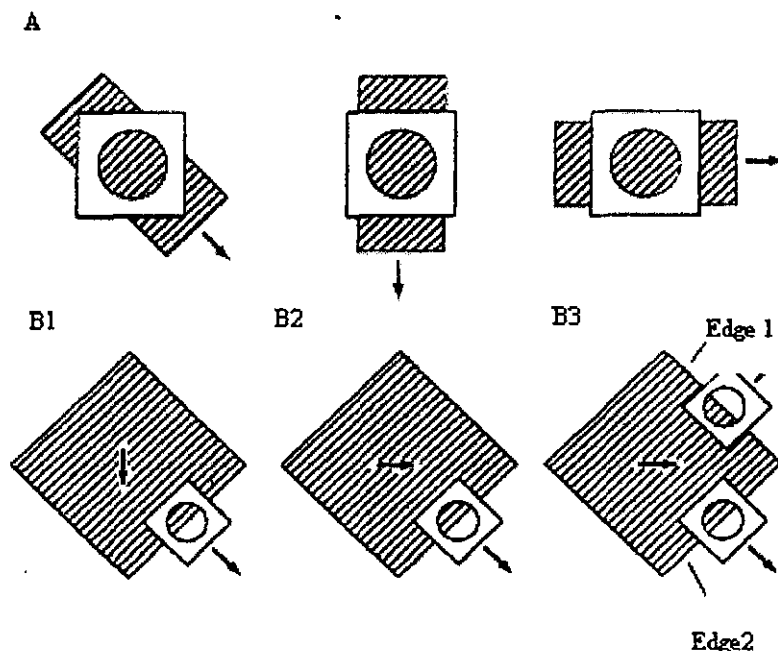


FIGURE 30-10
The aperture problem

El observador sólo puede reparar en el componente de movimiento que es perpendicular a la orientación de las barras ilustra una ambigüedad básica en la detección del movimiento.

Esto llevó a pensar que la información sobre el movimiento en el campo visual es extraído en dos etapas:

a) la primera etapa se refiere al movimiento en una dirección), es información sobre objetos movientes unidimensionales tomados como medida del movimiento de los componentes de los objetos más complejos. En este estado inicial, las neuronas que responden a un específico eje de orientación están primeramente activas a la señal de movimiento de los componentes perpendicular al eje de orientación.

b) la segunda etapa se refiere al movimiento de modelos complejos. Aquí las neuronas superiores combinan e integran los componentes del movimiento analizado por varias de las neuronas iniciales. Así, el análisis de la dirección de movimiento de un modelo - un objeto dimensional- requiere conocimientos de las direcciones de movimiento de los componentes del modelo.

Movshon y sus colegas encontraron que el movimiento de cada componente se registra en las propiedades de las neuronas en la capa VI también como la mayoría de las neuronas en el área temporal media. Ellos llamaron a estas neuronas, *neuronas componentes de selección de dirección* y sólo responden a una orientación prefijada (horizontal, vertical u oblicua).

La variación entre imágenes retinales, al igual que en cine son las variaciones entre fotogramas, son lo que provocan al cerebro que interprete el movimiento. Pero, ¿qué es en lo que se fija el cerebro para comprobar que existen realmente tales variaciones? Ullman sostiene que en elementos primitivos como bordes, líneas y manchas y no en figuras completas. Recurre a la afinidad en el espacio y en la forma para comprobar que se trata de dos parámetros iguales desplazados en el tiempo. Esto es, si tenemos dos líneas A y B, que se desplazan en el tiempo constituyendo A' y B', sabemos que A corresponde a A' y no a B' porque hay entre ellas una mayor proximidad en el espacio y en la descripción de la forma, con lo que nos hacemos partícipes de un sencillo supuesto que, como indican Bruce y Green (1992, 252), *los pares próximos, similares, formen más probablemente una pareja que los pares más distantes y desiguales*.

Ullman llega a proponer, incluso, que se puede recuperar la estructura de un objeto a partir de su movimiento. Para ello propuso un experimento que consistía en colocar una estructura detrás de una pantalla sobre la que caía una sombra, conseguida mediante una iluminación dirigida, de los dos cilindros llenos de agujeros, uno dentro

de otro, en que consistía dicha estructura. Cuando el objeto está quieto vemos una serie de puntos estáticos colocados de forma aleatoria; cuando se mueve el observador nota claramente mediante la sombra que proyecta que hay un cilindro dentro de otro. Hemos sido capaces de recuperar la forma de una estructura a partir del movimiento de dicho cuerpo.

Para los empiristas británicos, con Berkeley a la cabeza, el poder visualizar la profundidad o la tercera dimensión se debía gracias a una serie de “claves” visuales que nos son proporcionadas por el tacto. Para ellos las claves primarias estaban en completa relación con la posición de los objetos; de hecho, son los diferentes grados de inclinación de los ojos (que hoy llamamos *convergencia*), los diferentes grados de borrosidad de la imagen y la diferente tensión en los músculos de los ojos (ambas hoy enunciadas como *acomodación* del cristalino).

Uno de los mayores riesgos del sistema visual es convertir una imagen retinal de dos dimensiones en tres dimensiones. Según hemos podido comprobar en análisis psicológicos, la convergencia de dos a tres dimensiones se debe a dos tipos de pistas:

- pistas para la profundidad monocular y estereoscopia
- pistas para la disparidad binocular

Si profundizamos en la primera llegaremos a la conclusión de que las pistas monoculares crean campos lejanos de percepción de la profundidad.

A distancias mayores de 30 metros las imágenes retinales vistas por cada ojo son casi idénticas, lo que implica que a esa distancia es como si mirásemos por un sólo ojo. No obstante, podemos percibir la profundidad con un sólo ojo fiándonos de una serie de *pistas de profundidad monocular*. Hay al menos cinco tipos de pistas de profundidad monocular que tienen mucho que ver con la construcción de la imagen retiniana. Las primeras cuatro de estas pistas fueron descubiertas por los artistas de la antigüedad, redescubiertas durante el Renacimiento y codificadas en el siglo XVI por Leonardo da Vinci.

Dichas pistas deben ser puntos de partida primordiales para de crear espacios virtuales, pues son componentes claros de construcción de realidad utilizadas por los artistas de todos los tiempos:

- 1) *FAMILIARIDAD PREVIA*. Si conocemos, gracias a la experiencia previa, algún dato acerca del tamaño de la persona u objeto a representar, podemos juzgar la distancia a la representación.
- 2) *INTERPOSICION*. Si una persona u objeto tapa en parte a otra persona, asumimos que la persona que está en frente está más próxima.
- 3) *LINEALIDAD Y PERSPECTIVAS DE TAMAÑO*. Las líneas paralelas, tales como las que conforma la vía del tren, parece que convergen en la distancia. Cuanto mayor sea la convergencia de líneas, mayor será la

impresión de distancia. El sistema visual interpreta la converge como profundidad, asumiendo que las líneas paralelas permanecen paralelas.

Hay que tener en cuenta, también, el concepto de *gradiente* del tamaño de la imagen, es decir, el tamaño relativo de una imagen depende de su distancia: cuánto más lejos se encuentre más pequeño veremos el objeto y viceversa.

4) *LA DISTRIBUCION DE SOMBRAS Y LA ILUMINACION*. Los modelos de luz y oscuridad pueden darnos la impresión de profundidad. Por ejemplo, las sombras más brillantes de los colores tienden a ser vistos como más próximos. En pintura esta distribución de luces y sombras se llama clarooscuro.

5) *MOVIMIENTO (O MOVIMIENTO MONOCULAR) PARALELO*. Esta es, quizás, la más importante de todas estas pistas, y no nos ha llegado a nosotros gracias al estudio de la pintura. Mientras movemos nuestras cabezas o nuestros cuerpos de lado a lado, las imágenes proyectadas por un objeto en el campo visual se mueve a lo largo de la retina. Los objetos cercanos parecen moverse más rápidamente y en la dirección opuesta a nuestro propio movimiento, mientras que los objetos más lejanos se mueven más lentamente.

En cuanto a las pistas estereoscópicas, se puede decir de ellas que crean percepción de la profundidad en campos cercanos al observador.

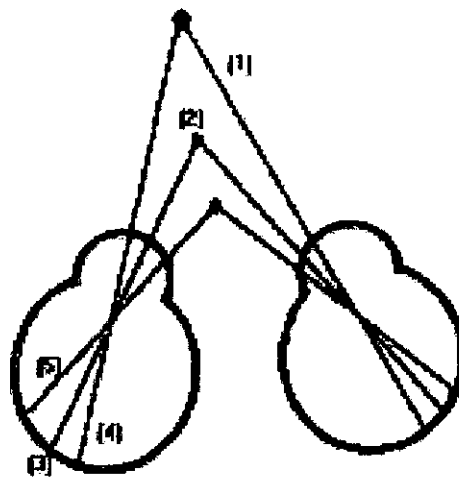
Hemos visto que las pistas monoculares son importantes para la percepción de la profundidad a una distancia mayor de 30 metros. Cuando nos encontramos a una separación menor del objeto, entra en juego la visión esteoroscópica. Ya no jugamos con una sola imagen, sino que se tratan las imágenes retinales de ambos ojos.

El punto donde se enfoca es llamado *punto de fijación*. El plano paralelo de puntos en el que descansa el punto de fijación es el *plano de fijación*.

Si nos fijamos en un punto a una distancia menor de treinta metros, la convergencia de los ojos provoca que el punto de fijación recaiga en idénticas partes de cada retina. La mayor o menor proximidad al punto de fijación proporciona los datos necesarios al cerebro para analizar la profundidad. Estos puntos producen *disparidad binocular* gracias a que estimulan diferentes partes de la retina de cada ojo. Cuando no hay correspondencia sólo en la dirección horizontal y esta no es mayor de 0.6mm ó 2° de arco, la disparidad se percibe como un sólido en tres dimensiones (3D). Este fenómeno es el que provoca la estereópsis o percepción de la profundidad.

Cualquier punto del objeto que está más cerca o más lejos que el punto de fijación proyectará una imagen a la misma distancia sobre el centro de la retina. Los puntos que estén más cerca de nosotros, se encuentran más alejados, en el plano horizontal, de la proyección del punto de fijación sobre la retina. Los que estén más alejados se proyectarán a una distancia menor del punto de fijación.

Como los dos ojos están separados unos 6 cm, está claro que cada ojo ve el mundo un poco diferente uno de otro. Por este motivo, los objetos en 3D producen imágenes ligeramente diferentes en las dos retinas. Esto se demuestra cerrando un ojo y después el otro, con lo que comprobaremos que las imágenes que nos llegan a través de cada ojo son ligeramente diferentes. Somos capaces de adaptar esta disparidad por medio de la *fusión sensorial*, es decir, fijando ambos ojos en un punto y posicionándolos de tal forma que las imágenes caigan en la posición del ojo izquierdo y



- (1) Líneas de proyección a la retina
- (2) Punto de fijación
- (3) Punto del centro de la retina donde se proyecta el punto de fijación
- (4) Lo interpreta como lejos. (5) Lo interpreta como cerca

del ojo derecho exactamente, con lo que nosotros vemos una sola imagen. No obstante, cuando fijamos nuestra mirada en un objeto tridimensional la posición no es perfecta.

Las dos imágenes retinales del objeto no caen exactamente en sus posiciones correspondientes. La diferencia en la posición, es lo que se llama *disparidad binocular* y depende de la distancia del punto de fijación del objeto. De esta forma, los puntos que constituyen un objeto tridimensional justo fuera del punto de fijación estimula puntos diferentes en cada ojo, y las diversas disparidades dan pistas para la *estereopsis*, es decir, la percepción de objetos sólidos. En principio, la visión estereoscópica es el

punto clave para cualquiera que quiera trabajar en realidad virtual y simular con un grado mayor o menor el realismo en un escenario generado por un ordenador.

Sorprendentemente ninguno de los grandes estudiosos de la óptica (Euclides, Arquímedes, Leonardo de Vinci, Newton) se dieron cuenta de la estereopsis. La visión estereoscópica o estereopsis no se descubrió hasta 1838, cuando el físico *Charles Wheatstone* inventó la estereoscopia. Dos fotografías de una escena separadas por unos 60-65cm, cada una procedente de la posición de cada ojo, están montadas en un aparato binocular de tal forma que el ojo derecho sólo ve la fotografía sacada para el ojo derecho y el ojo izquierdo sólo ve la fotografía sacada para el ojo izquierdo. Lo que ocurre es que nosotros contemplamos una imagen tridimensional.

La forma en que la estereopsis es trabajada por el cerebro parte del cálculo de la disparidad binocular para luego estimar la distancia basándose en simples relaciones geométricas.

En 1960 *Bela Julesz* encontró que la visión estereoscópica y la percepción de la profundidad no requerían la identificación monocular de la forma. La única pista necesaria para la estereopsis es la disparidad retiniana.

Los experimentos de Julesz mostraron que la visión estereoscópica no tiene su origen en la retina o en el núcleo geniculado lateral, sino que ocurre a nivel de la corteza estriada o incluso a niveles superiores donde las señales de los dos ojos están combinadas. En realidad, este científico demostró que se puede lograr la percepción de la tercera dimensión aún cuando la imagen que nos llega a uno de los ojos no es totalmente satisfactoria, es decir, está borrosa, tiene "ruido", etc, ya que el número de combinaciones entre puntos es casi infinita. Para Julesz la estereopsis se produce mediante una comparación punto por punto teniendo en cuenta que el brillo debe ser el mismo entre dichos puntos. Divide la estereopsis en local, si se trata de comparaciones entre unos pocos bordes o puntos, y global, si son superficies con texturas complejas.

Es en la Corteza Visual Primaria el primer sitio donde las células simples reciben la información de los dos ojos. La estereopsis, sin embargo, requiere que los inputs o entradas de información de ambos ojos sean ligeramente diferentes; debe haber una disparidad horizontal en las dos imágenes retinianas.

Gian Poggio encontró que alrededor del 70% de las células simples y complejas en VI, V2 y V3 de los monos, responden a la disparidad binocular comprobando que ciertas neuronas son sensibles a los estímulos más próximos que el plano de fijación, mientras que otros son sensibles a estímulos que están más lejos. Los estímulos que están más cerca del plano de fijación se interpretan como cerca, y aquellos que están más lejos del punto de fijación se interpretan como lejos.

Poggio y Marr no están de acuerdo con Julesz en que el emparejamiento estéreo se base en un factor tan elemental como es el mismo brillo en los puntos comparados, es decir, todo lo que tenga que ver con la intensidad. Para ellos hay indicadores más fiables

tales como los bordes, manchas,...

Una técnica de reconstrucción de la tercera dimensión es la utilización de gafas, un cristal con filtro para el rojo y el otro para el verde, de tal modo que las perspectivas se pintan una en rojo y otra en verde. Esto es lo que se denomina *anáglifo*.

Si queremos construir la tercera dimensión en un ordenador deberemos tener en cuenta el algoritmo de Marr y Poggio, el cual parte de tres grandes restricciones. La primera es que los puntos que van a ser emparejados deben parecer casi igual físicamente. La segunda es que un punto de la imagen que vaya a un ojo debe ser emparejado con uno idéntico que vaya al otro ojo. La tercera es que la disparidad debe variar suavemente en todas las partes de la imagen. No lograron, sin embargo, solucionar el problema del “ruido”. A pesar de ello, dejaron claves tales como que los pares de puntos han de ser del mismo signo y de la misma orientación.

Las investigaciones en este campo han ido avanzando y se han creado estereogramas en los que cada ojo ha sido estimulado con contornos ilusorios distintos. Harris y Gregory han estudiado este factor y han llegado a la conclusión de que no se percibe la tercera dimensión en toda su plenitud, sino que depende de la situación en la que miremos el estereograma. Por tanto, hay configuraciones *aparentes* en la percepción de la tercera dimensión por lo que no se fundamenta exclusivamente en informaciones iguales a cada ojo.

La mayor parte de todas estas ideas nos llevan a conclusiones como que la información sobre la orientación de la superficie viene proporcionada por la estereopsis, por los contornos de superficies y texturas, y por un análisis de la estructura a partir del movimiento.

Los humanos no vemos imagen a imagen ligeramente modificadas para cada ojo, sino que integramos todo la información que llega a los dos ojos para ver una sola imagen final. El problema de la integración es bastante importante como hemos comprobado con la percepción de la tercera dimensión. Hemos visto que primero analizamos la imagen que llega a un ojo para compararla con la imagen que llega al otro ojo. Debe existir, por tanto, una memoria que nos permita recordar las posibles similitudes y variaciones. A esta memoria se le ha llamado *memoria icónica* y fue *Sperling* el primero en investigarla. Según este autor somos capaces de ver más de lo que podemos recordar.

La memoria icónica no es suficiente para satisfacer el proceso de integración, y se necesita de algo más llamado el *almacenamiento visual a corto plazo (AVCP)*, que es un almacén más esquemático que la memoria icónica, en el que la información se codifica en un sistema de coordenadas cuya referencia permanece constante a pesar del movimiento ocular. Se han hallado células que podrían cumplir esta función en el área 7a del córtex parietal.

Una vez conocido que es y como se puede conseguir la estereopsis, podemos

pasar a explicar hechos tales como el reconocimiento de caras y otras formas complejas, lo cual ocurre en la corteza temporal inferior.

Nosotros somos capaces de reconocer una variedad casi infinita de formas independientemente de su tamaño o de la posición en la retina. Obviamente las caras o los objetos que reconocemos tienen algo en común con las imágenes correspondientes. El problema es saber el qué y cómo se detecta. Esto es lo que se llama *equivalencia del estímulo*.

El trabajo clínico en humanos y estudios experimentales en monos sugiere que el reconocimiento de formas está representado en el sistema parvocelular inter-blob, que se extiende desde VI hasta V2 y V4. Desde allí, el reconocimiento de las formas se transporta a la corteza temporal inferior. Quizás la evidencia más dramática de que este camino es así viene de los estudios clínicos del síndrome llamado *prosopagnosia*, que es una enfermedad por la que el enfermo no reconoce ninguna cara si sólo la mira de perfil.

Hay células en la corteza temporal inferior que responden preferentemente a caras; la mayor efectividad se produce cuando nos encontramos ante el frontal de la cara. La corteza temporal inferior sería, por tanto, la responsable del reconocimiento de las caras.

Bastantes animales solucionan el problema del reconocimiento mediante estímulos claves tales como colores vivos, formas especiales de movimiento, olores característicos, etc. De esta forma pueden aparearse, cazar, dar de comer a sus crías, luchar entre ellos por el dominio de un territorio o saber quien es el líder del mismo

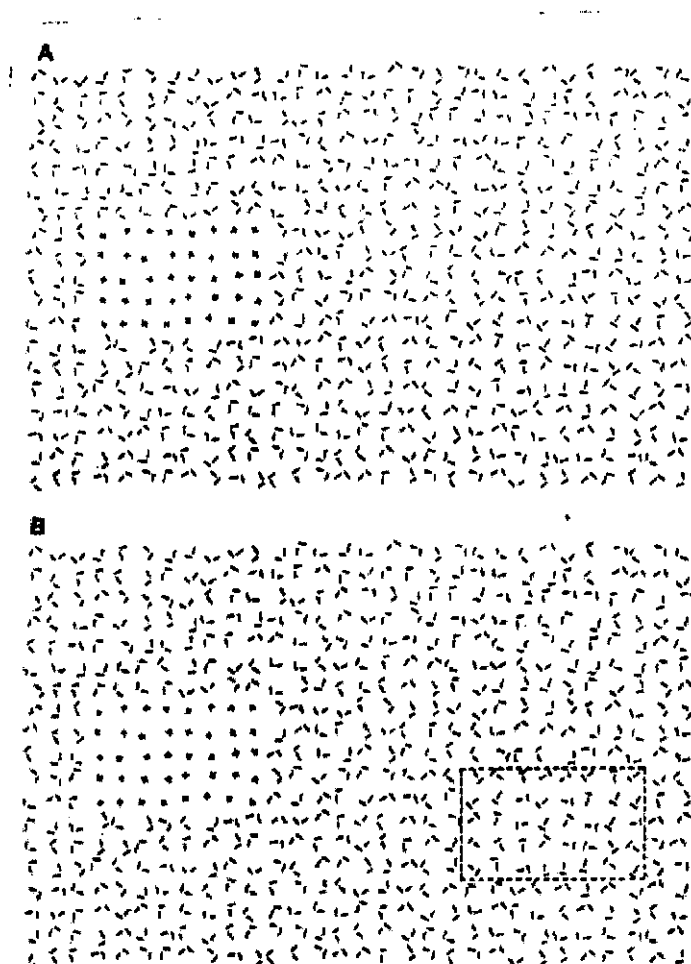
La percepción humana, no obstante, no es un hecho aislado, sino que se consigue a es una suma de procesos complejos. Entonces, ¿cómo se organiza en una cohesión perceptiva la información sobre color, movimiento, profundidad y forma, la cual, como hemos visto, es transportada por caminos neuronales separados? Podríamos responder afirmando que las imágenes visuales complejas son construídas de una forma sucesiva en centros de procesamiento superiores desde los inputs de caminos paralelos que procesan características diferentes (movimiento, solidez, forma y color). Para expresar la combinación específica de propiedades en el campo visual en cualquier momento dado, grupos de células independientes, cada una de las cuales procesa una propiedad distinta, deben ser traídas juntos, en una especie de asociación temporal.

El cerebro tiene, por tanto, que asociar procesos que se han producido en partes distintas del mismo. A esto se le denomina *problema del ligamento*.

La Gestalt lo soluciona mediante la *atención* y plantea el siguiente experimento.

En un campo de L meten un rectángulo de + y otro de T; se puede comprobar perfectamente que el rectángulo de + es fácilmente reconocible y discernible del fondo, mientras que el rectángulo de T no se puede casi ni apreciar, puesto que se integra

totalmente en el fondo.



Basándose en esta observación, *Treisman y Julesz* sugirieron que hay dos procesos distintos en la percepción visual:

a) **proceso pre-atención**, que se comporta como un sistema de escaneado rápido y sólo se refiere a la detección de los objetos. Este proceso escanea rápidamente la textura de los objetos o las características del mismo y codifica las propiedades elementales y útiles de la escena: color, orientación, tamaño o dirección del movimiento. En este punto la variación en una propiedad simple puede ser discernida como un borde o un contorno, pero las diferencias complejas en combinación de propiedades no son detectadas. Treisman cree que las propiedades diferentes son codificadas en diferentes *mapas de características* de diferentes regiones del cerebro.

b) *proceso de atención* que dirige la atención a las diferentes características de un objeto, seleccionando características que son inicialmente segregadas en los *mapas de características* separados. Este proceso de atención primero enfatiza las características destacables de un objeto e ignora las que no son características destacables.

Por ejemplo, para reconocer una cara según Treisman, hay un *mapa master* que codifica sólo los aspectos claves de la imagen. Este mapa master recibe información de todos los mapas de características, pero abstrae sólo aquellas que distingue el objeto de atención de su entorno. Una vez que estas características destacables han sido seleccionadas, la información asociada con esta localización en el mapa master es recuperada y se introduce como "nuevo archivo" en los mapas de características individuales.

El reconocimiento se produce cuando estas localizaciones distintivas se asocian en diferentes mapas de características o están ligadas juntamente unas a otras.

Francis Crick y Christoff Koch sugieren que la atención visual puede ser mediada por una o más estructuras subcorticales tales como el pulvinar, claustrum y colículo superior, así como la corteza prefrontal. Ellos argumentan que estas estructuras pueden representar los mapas de características de Treisman y que la explosión de acciones potenciales en ellas puede modular la actividad de las células apropiadas en los diferentes mapas de características.

De hecho se ha comprobado que hay tipos de células que se preocupan sólo por la atención en las zonas de interés, y hay otras células que se preocupan de la atención de las partes del objeto que no tienen interés.

En los 70, *Wurtz, Michael Goldberg y David Lee Robinson* examinaron la respuesta de las células a un punto de luz bajo dos condiciones:

- cuando el animal mira a algún otro sitio y no atiende al punto
- cuando el animal está forzado a mirar haciendo movimiento de los ojos hacia el punto de luz .

Ellos encontraron que las células en el colículo superior y en VI responden más intensamente cuando el animal atiende al punto, que cuando lo ignora. Sin embargo, la mejora no resulta de la atención selectiva per se, si no de los cambios en el nivel general de movimientos y de los mecanismos neuronales que llevan consigo la iniciación del movimiento del ojo. La mejora no ocurre cuando la atención focalizada no requiere el movimiento del ojo.

Mucha de la información sensorial recibida por los receptores periféricos de nuestro cuerpo son filtrados y eliminados por el cerebro, disgregando mucho el fondo cuando enfocamos la figura. Aunque el sistema visual tiene caminos paralelos

extensivos para procesar diferente información visual, nuestra habilidad para procesar, de un modo distinto, información simultánea es sorprendentemente limitada debido al mecanismo de *atención selectiva*. Si consideramos la dicotomía figura-fondo, la atención selectiva deshecha algunas características y formas de nuestra percepción. En este proceso algunos estímulos se quedan en nuestro consciente mientras que otros retroceden hacia el inconsciente.

Si la consciencia en sus varias formas es el producto de un conjunto generalizado de mecanismos neuronales, entonces, el estudio de la atención visual nos sitúa en el camino de comprender nuestra propia autoconsciencia. El análisis de la atención visual puede dar, por tanto, claves importantes hacia la comprensión del conocimiento consciente del ser humano.

El hecho es que crear artificialmente las claves para el conocimiento consciente es una tarea ardua difícil. Nos debemos ir basando en posibles hipótesis que se consiguen gracias a estudios científicos. El problema del reconocimiento es algo crucial y la realidad virtual puede ser el modelo de experimentación más factible para comprender este asunto y llevar a la práctica las distintas hipótesis. Podríamos crear un espacio virtual con una serie de puntos de atención prefijados previamente por nosotros. Haremos que unos estén separados del fondo, mientras que otros estén totalmente integrados; llegaríamos a comprobar que no tenemos que estar continuamente creando todos los contornos del entorno sino, exclusivamente, los que nosotros creamos conveniente para poder construir puntos de atención. Ahorraríamos cálculos en el proceso de modelado en tiempo real de los entornos virtuales, lo que nos lleva a ahorrar información y a gestar un mayor índice de realismo en nuestro espacio virtual ya que nos asemejaremos bastante a la forma que nuestros sentidos llegan a procesar la información que les llega del mundo exterior real.

Los psicólogos, por su parte, han ahondado también en el problema del reconocimiento. El principal punto de partida del que han salido casi todos ha sido el del reconocimiento por medio de *patrones o rasgos*.

La percepción del color enriquece, plenamente, nuestra experiencia visual. El valor más importante del color es su utilidad a la hora de detectar modelos y objetos que, de otro modo, no serían fácilmente reconocibles, ya que los gradientes de la energía luminosa son pequeños, con frecuencia, en las escenas cotidianas. Para distinguir un objeto de su fondo es útil explotar las diferencias en las longitudes de ondas de la luz reflejada de un objeto distinguiéndola de aquella que refleja el fondo. La percepción del color sirve para realzar el contraste.

Lo primero a tener en cuenta es que el color es una propiedad del objeto.

La composición de las longitudes de onda de la luz reflejada desde el objeto es determinada no sólo por su reflectancia, si no también por la composición de la longitud de onda de la luz que lo ilumina.

Como la composición de la luz incidente varía, la visión del color compensa esta variación de tal forma que el color del objeto aparece como más o menos el mismo. Esto se llama *constancia del color*.

Al principio del capítulo explicábamos como la transformación de la radiación luminosa, en impulsos nerviosos, se realiza en los conos y bastones mediante un proceso fotoquímico. Los pigmentos existentes en los fotoreceptores retinianos se decoloran, si la radiación luminosa incide sobre ellos, dando lugar a su correspondiente impulso nervioso. El pigmento de los bastones es la rodopsina y el de los conos, responsable de la visión del color, es la yodopsina.

El ojo humano es sensible a longitudes de onda que van desde los 400nm hasta los 700nm. Pasamos del azul al verde y, luego al rojo en este espectro, siendo estos los colores primarios, que permiten, al ser combinados, den toda la demás gama de colores que puede observar el hombre. Esta propiedad de la visión del color llamada *trivariancia* resulta de tres tipos de conos fotoreceptores, cada uno con un pigmento visual diferente. El sistema visual extrae la información sobre el color comparando las respuestas de las tres clases de fotoreceptores. Esta idea fue propuesta en 1801 por *Thomas Young*, siendo confirmada en los años sesenta del siglo XX, con experimentos que permitieron descubrir que los conos, de forma individual, sólo contienen uno de los tres pigmentos.

Young parte de las observaciones de Newton sobre la luz, el cual, a partir de tres radiaciones del espectro, consiguió obtener luz blanca. Young lleva este logro al campo de la fisiología, afirmando que existen tres tipos diferentes de fotoreceptores cromáticos, siendo unos sensibles al rojo, otros al verde y otros al azul. Si se estimulan a los tres en idéntica proporción se llega al blanco y si no, se produce la sensación de cromacidad.

Posteriormente se comprobó que esto era cierto. El resultado es que hay tres tipos diferentes de conos:

- los *conos S* o *conos B* sensibles al azul, es decir, los que son sensibles a longitudes de onda entre 400 y 500nm.
- Los *conos M* o *conos G* sensibles al verde, es decir, a longitudes de onda entre 500 y 600nm.
- Los *conos L* o *conos R* sensibles al rojo o lo que es igual, a longitudes de onda entre 600 y 700nm.

Modernos experimentos han demostrado que el pigmento azul absorbe con mayor fuerza a los 420nm, el pigmento verde a los 531nm y el pigmento rojo a los 558nm.

Para llegar al rojo, verde o azul saturado hay, por tanto, que estimular al conjunto de conos correspondientes. El cyan, magenta o amarillo saturado son colores que resultan de la igual estimulación en dos de los tres conjuntos de conos. Para los

violetas, anarajandos y amarillo-verdosos hay que estimular un conjunto de conos plenamente y otro en parte. Por último, los colores no saturados se consiguen cuando los tres conjuntos de conos son estimulados pero uno o dos lo son plenamente.

De todo esto es fácil deducir que esta teoría no explica ciertas anomalías en la percepción del color, como algunos casos de daltonismo, y que la discriminación del color requiere al menos dos tipos de fotoreceptores con diferentes sensibilidades espectrales.

Los conos, de manera individual, no transmiten información sobre la longitud de onda de un estímulo de luz. Cuando un cono absorbe un fotón, la respuesta eléctrica que genera es siempre la misma, cualquiera que sea la longitud de onda del fotón. Esta propiedad se llama *invariancia*.

Aunque la longitud de onda de un fotón no se ajuste a la respuesta del cono, el número de fotones absorbidos por un cono varía con la longitud de onda. Por ejemplo, un cono tipo-R es dos veces más propenso a absorber un fotón de 558nm que un fotón de 490nm. Un cono tipo-R absorberá dos veces el número de fotones de una luz de 558nm que de una luz de 490nm. Por la misma causa absorberá el mismo número de fotones de una luz de 558nm que de una luz de 490nm: en ambos casos la respuesta eléctrica del cono será la misma. De hecho, una célula corresponderá de manera equitativa a la luz de cualquier longitud de onda tanto tiempo como la intensidad de la luz compensada para ese nivel de absorción que tenga la célula a esa longitud de onda. De este modo, el cerebro no puede determinar que la luz roja sea sólo captada por los conos tipo-r, etc.

Con luz oscura los conos no tienen casi sensibilidad y, por tanto, casi no permiten distinguir los colores.

La visión del color requiere, por tanto, al menos dos modelos de fotoreceptores con diferentes sensibilidades espectrales. Un "di-receptor" puede dar dos valores de brillo para cada objeto. *Comparando los dos valores de brillo, el cerebro es capaz de distinguir los colores.* Si el objeto primero refleja luz de una gran longitud de onda, la respuesta en el sistema de conos para longitudes de onda más grandes será más fuerte que la respuesta en el otro sistema, y los centros superiores interpretarán que el objeto es amarillo. Si es de longitudes de ondas cortas interpretará que el objeto es azul, y si es de longitudes de onda largas y cortas repartidas de una forma igual, los centros superiores entenderán que es blanco o negro dependiendo del brillo del fondo.

Un sistema divariante es una primera evolución en la visión del color. Este sistema falla si un objeto refleja luz de ambos extremos del espectro y aparece contra un fondo que refleja luz de la mitad del espectro. La consecuencia es que el objeto se vuelve invisible, ya que objeto y fondo producen la misma respuesta en ambos tipos de fotoreceptores. Esta ambigüedad estaría más reducida por un sistema triple o trivariante de receptores, pero, incluso este sistema no eliminaría todas las ambigüedades.

Como la visión del color depende de la comparación entre las salidas de los diferentes conos, ésta se deteriora cuando los objetos se convierten tan pequeños que estimulan a conos únicos o simples. En suma, la resolución óptica de las longitudes de onda corta está limitada por la imagen óptica más borrosa del espacio. Este fenómeno es conocido como *aberración cromática*. Consecuentemente, los mecanismos de longitudes de onda más corta no existen en la fovea central, donde la resolución de los detalles finos es máximo. De este modo, la visión del color en la fovea central es divariante. Debido a estas dos limitaciones, la visión del color no es usada para discriminar detalles espaciales finos, pero sí para detectar objetos relativamente grandes.

Los colores antagonicos, el contraste simultáneo de color y la constancia de color son otras características claves de la visión del color.

La *teoría de la trivariación* explica una gran variedad de asuntos en la percepción del color. Sabemos que la combinación de verde y rojo es vista como amarilla y la mezcla en igual proporción de los tres colores primarios (rojo, verde y azul) es vista como blanco. Sin embargo, esta teoría por si sola no explica, al menos, tres importantes aspectos de la percepción del color.

El primero es que ciertos colores se anulan unos a otros de tal forma que no se perciben si se combinan. Por ejemplo, no podemos percibir el verde rojizo o el amarillo azulado, pero si podemos percibir el amarillo rojizo (naranja), el amarillo verdoso o el verde azulado (cyan). Hering aclararía este punto mediante la teoría del *proceso oponente o de los antagonistas* según la cual los tres colores primarios tienen antagonismo mutuo por parejas: rojo-verde, amarillo-azul y blanco-negro; estas parejas están organizadas en la retina en tres canales neuronales de colores oponentes. Un canal responde en una dirección (excitación o inhibición) al rojo y en la dirección opuesta al verde. Cuando se da una mezcla precisa de rojo y verde, este canal no produce ningún tipo de salida. Es la acción de la luz la que provoca que sustancias en los canales neuronales, uno por cada pareja, sufran procesos fisicoquímicos de asimilación y de diferenciación antagonicos entre sí, por lo que queda explicado la carencia de sensaciones intermedias entre pares opuestos (azules amarillos o verdes rojizos). De este modo se pueden explicar los problemas de diplesias que no podía aclarar la teoría tricromática de Young y Helmholtz. La teoría de Hering, propuesta en 1874, fue confirmada en 1957 por D. Jameson y L. Hurvich, y es la preferida por los investigadores de la percepción en el área de la psicología.

La evidencia psicológica para la teoría del proceso oponente fue obtenida en los cincuenta por *Gunnar Svatichin*, quien encontró que las células horizontales de la retina y del núcleo geniculado lateral son hiperpolarizadas por un mecanismo de conos y depolarizadas por otro. Este descubrimiento mostró la primera evidencia de las interacciones opuestas entre células de conos.

La mayoría de estas células se engloban en dos grupos: las de bandas

concéntricas en la periferia y las células de color oponente.

Las *células de bandas concéntricas* tienen una organización de un campo receptivo en torno al centro. Un punto de luz blanca en el centro del campo receptivo excita (o inhibe) la célula. Estas células responden bien al brillo -comparando el del exterior con el del centro- pero no contribuyen a la percepción del color.

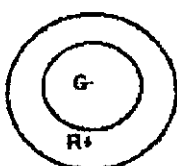
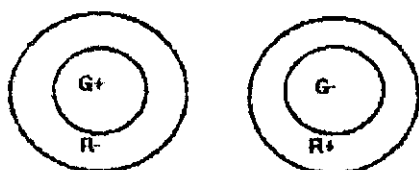
La información sobre el *color* es transmitida por las *células de color oponente*. En la mayoría de estas células el antagonismo es entre los conos R y G, y ocurre dentro de la estructura de un campo antagónico centro-fuera. De este modo, el centro recibe inputs de los conos R y G, y los antagónicos reciben los otros inputs.

La respuestas de las células opuestas-concéntricas simples a los diferentes estímulos demuestra que transmiten información sobre el color y el contraste del brillo acromático.

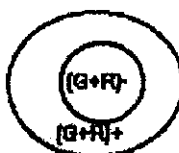
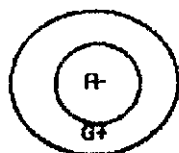
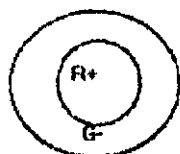
Cuando iluminamos con luz blanca responden preferentemente a pequeños puntos de luz en el centro de su campo receptivo o en la periferia. Al mismo tiempo estas células responden fuertemente a grandes puntos de luz monocromática de la apropiada longitud de onda. El centro R- contorno G, responde mejor al rojo, mientras que el centro G- contorno R, responde mejor al verde. De este modo, estas células no responden sólo a estímulos cromáticos.

Todas las posibles variaciones que tenemos respecto a este punto se encuentran en los siguientes gráficos:

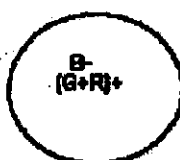
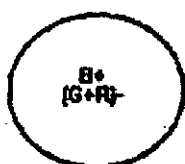
NUCLEO GENICULADO LATERAL



Células concéntricas
opuestas simples

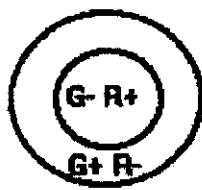
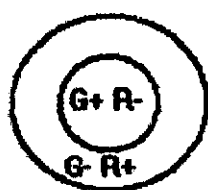


Células concéntricas
de banda externa

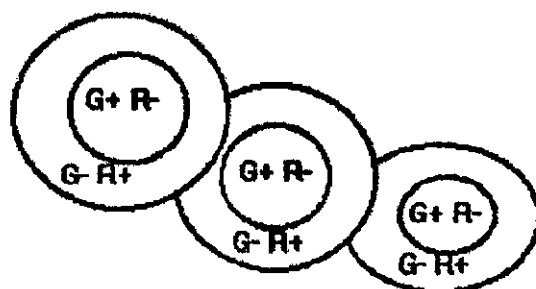
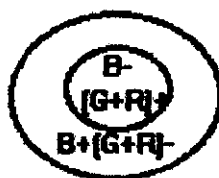
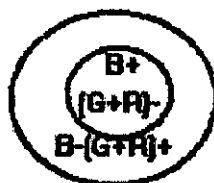


Células co-receptivas
opuestas simples

NEURONAS CORTICALES



Células concéntricas
opuestas dobles



Células complejas
opuestas dobles

Las células concéntricas opuestas simples son las más comunes y lo que ocurre es que el centro y la periferia actúan de forma opuesta. En el segundo tipo ambos conos están juntos en el centro y en la periferia. En las células coextensivas opuestas simples, los conos rojos y verdes actúan juntos en detrimento de los conos azules.

En cuanto a las células de las neuronas corticales se puede afirmar que hay de dos tipos: las células concéntricas dobles opuestas y las células complejas dobles opuestas. La teoría de Hering queda demostrada con la verificación de la existencia de este tipo de células.

¿Cuál es, entonces, la situación actual en la que nos encontramos? Ambas teorías, la tricromática y la de procesos oponentes, se han unido en una sola, pues se ha comprobado que ambas son válidas en parte. El proceso de estimulación de conos y bastones parece ser tricromático, mientras que el tratamiento de esta información y su transmisión al cerebro parece funcionar según la teoría de Hering.

No obstante, han surgido nuevas teorías, como la de *K. von Fieandt* que en 1966 enunció que las sustancias fotosensibles al color, existentes en la retina, no lo son en función de las distintas longitudes de onda de la luz que llega a los fotoreceptores - de aquí parten las dos teorías anteriores- sino en función de su gradiente de intensidad o, lo que es lo mismo, en función de las variaciones de intensidad de las radiaciones.

El segundo asunto es el fenómeno del *contraste de color simultáneo* que ocurre principalmente con los límites de los objetos percibidos: un objeto gris visto sobre un fondo rojo tiene un tinte verde. En estas situaciones los mecanismos de los conos parecen ayudarse unos a otros mejor que cancelarse entre ellos.

Finalmente, una teoría de la visión del color necesita explicar la *constancia del color*. Percibimos el color de un objeto como relativamente constante si se producen enormes cambios en la composición espectral de la luz ambiente.

Una vez visto como se captura la información, hay que tratar de comprender como se procesan los datos. Este hecho se produce en la corteza visual mediante células de doble oponente en las Zonas Bloch.

Las muchas clases de células glangionales retinales se engloban en dos clases: las grandes *células M*, con velocidades de conducción rápidas, con la cual se proyecta a las capas magnocelulares del núcleo geniculado lateral; y las pequeñas *células P*, que proyectan a las capas parvocelulares.

Las células concéntricas de banda externa pueden ser de tipo-M o de tipo-P; y las células de color oponente son sólo células de tipo-P. De este modo, las capas parvocelulares proporcionan toda la información de color y contraste acromático a la corteza visual y las capas magnocelulares están sólo involucradas en la visión acromática.

Los sistemas magnocelular y parvocelular tienen diferentes objetivos en la

corteza estriada. Las células parvocelulares “sinapsan” en la capa 4CB la cual proyecta en las capas 2 y 3. Las células sensitivas al color están fuertemente concentradas en las zonas blob. Se piensa que las células parvocelulares simples-opuestas dan información de contraste de color a las células en los blobs, mientras que la información de contraste de brillo acromático a las células en las regiones interblob.

De aquí se ha deducido que el *sistema parvocelular interblob* procesa la información de *forma*. El *sistema parvocelular blob* procesa la información de *color* y el *sistema magnocelular* procesa la información de la *estereoscopia* y el *movimiento*.

En la corteza, los inputs de las células simples-opuestas están combinadas para crear las llamadas células opuestas-dobles, concentradas en las zonas blob. Estas células también tienen una organización antagónica centro-contorno en su campo receptivo, pero la organización de los conos del campo receptivo es bastante diferente del tipo de células anterior. En lugar de un tipo de conos (G) operando en el centro y otro (R) en el contorno, cada tipo opera en todas las partes del campo receptivo pero con acciones diferentes según sea el centro o el contorno. Por ejemplo, en algunas células dobles-oponentes, el cono R excita en el centro e inhibe el contorno. En estas células, el cono G tiene la acción opuesta: inhiben el centro y excitan el contorno. Estas células responden mejor a un punto rojo en el centro contra un fondo verde, y son más selectivas para el estímulo cromático que las células simples-opuestas. No responden bien a la luz blanca, siempre con el tamaño o la intensidad del estímulo, porque los conos R y G absorben luz blanca a extensiones similares y de este modo los dos inputs cancelan los efectos del otro en todos los puntos del campo receptivo.

Hay otras tres clases de células opuestas-dobles: aquellas que responden mejor a un punto verde en un fondo rojo; aquellas que responden a un punto azul en un fondo amarillo y aquellas que responden a un punto amarillo en un fondo azul.

Aunque estas células responden a otros contrastes, su máxima respuesta se produce en las condiciones citadas. Las células opuestas-dobles han sido también identificadas en los centros superiores de procesamiento. Algunas tienen selección de orientación; otras, llamadas células complejas opuestas-dobles, responden sólo a puntos de un determinado tamaño, pero estos puntos no tienen que aparecer en una localización espacial precisa dentro del campo visual para sacar una respuesta.

La verdadera funcionalidad de las células dobles-opuestas es que ayudan a explicar los colores antagónicos, el contraste de color y la constancia del color.

Una célula opuesta-doble que es estimulada por el rojo e inhibida por el verde en su centro responderá lo mismo a una luz verde en su centro o a una luz roja en el contorno. Así se podría explicar porqué un objeto gris visto contra un fondo verde tiene un tinte rojo.

La organización de las células opuestas-dobles puede también contribuir al fenómeno de la constancia de color. Un incremento grande en el componente de

longitud de onda de la luz ambiente (tal como ocurre al cambiar de luz fluorescente a luz incandescente) tiene poco efecto en una célula doble-opuesta, debido a que el aumento de dicha longitud de onda es el mismo tanto, para el centro como para el contorno del campo receptivo. Esto ayuda a explicar porque, por ejemplo, un limón aparece amarillo siempre bajo unas determinadas condiciones lumínicas.

Sin embargo, esta compensación para los cambios en la luz ambiente no explica porqué el limón es percibido como amarillo debajo de todas estas condiciones. De hecho, un limón amarillo no siempre será percibido como amarillo. Haciendo fotos con máquinas Polaroid se comprobó que el color de la piel puede variar según sea el fondo sobre el que esté dicho limón.

A la hora de que el sistema visual detecte el color de los objetos influye, por tanto, el hecho de que se produce un análisis comparativo entre todos los objetos que se encuentren dentro de la escena visual. La forma en que hace esto todavía no es comprendida.

La importancia suprema que va adquiriendo el fondo dentro de la percepción es cada vez más relevante. En el tema del color vemos que influye a la hora de determinar el color de un objeto que descansa sobre él. La construcción de escenarios virtuales debe tener esto como principio fundamental ya que es el fondo parte influyente en el color de los objetos. La pintura ha abordado este tema desde tiempos inmemoriales y sus tratados suponen una buena manera de complementar la figura con el fondo.

El color es una experiencia perceptiva única en sí misma. El elemento puede ser dividido en tres sensibilidades independientes: el tono, el brillo y la saturación.

El *tono* es lo que normalmente llamamos color. Esta impresión es determinada por la proporción en la que los tres conos son activados por el objeto y su fondo. El cerebro guarda un "*track*" o "*recuerdo*" de la cantidad de influencia que tiene cada cono en cada uno de los tres sistemas de fotorreceptores para la percepción de cada color. Con este "*track*" el cerebro tiene las claves para posteriores sensaciones de un mismo tono. Nuestro ojo es capaz de discriminar unos doscientos colores. Hay que tener en cuenta que las tonalidades posibles son las que componen el espectro luminoso más el espectro no luminoso y que en los extremos del ojo es necesario una diferencia de unos 6nm en la longitud de onda entre un tono y otro, mientras que en el centro es necesario tan sólo 1nm. No obstante, el ojo es capaz de distinguir una cantidad suficiente de colores como para que engañar lo no resulte nada fácil.

La *saturación*, o riqueza del tono, indica la cantidad de color diluido en blanco, es decir, la pureza del color. Un color no saturado contiene blanco, mientras que un color saturado posee solamente el matiz que lo constituye. Se determina por el grado de estimulación, que ha de ser en una misma proporción, que sufren los tres sistemas de conos al recibir información procedente de un objeto y su fondo. A cortas y grandes longitudes de ondas hay alrededor de 20 pasos distinguibles de saturación para cada

tono. En la región media del espectro (530-590nm) hay sólo alrededor seis niveles distinguibles de saturación.

La saturación de una superficie coloreada depende de su naturaleza (brillante, mate), la iluminación directa o difusa de la que sea objeto y de factores subjetivos propios de la percepción de cada individuo.

Si hablamos del término degradación hay que decir que es la mezcla de un color con el negro. Tiene validez a nivel de pintura, pero no a nivel científico ni informático, ya que este hecho se produce con sólo bajar la luminancia de un color dado.

El *brillo* es el efecto total del objeto sobre los tres conos aunque, como hemos visto, el mecanismo de conos para longitudes de onda cortas hace poca o ninguna contribución a la percepción del brillo. Es el factor brillo el que vuelve el naranja en marrón, y el gris en blanco o en negro. El sistema visual acromático también distingue el brillo. Hay 500 pasos distinguibles de brillo.

El ojo humano es un sistema visual capaz de detectar unas 2.000.000 de gradaciones de color con las cuales detectar los contornos de los objetos en el mundo externo. Este número resulta de multiplicar la cantidad de pasos disponibles para cada cualidad independiente del color: 500 para brillo*200 para tono* 20 para saturación.

Los conocimientos que el hombre ha ido adquiriendo sobre la fisiología del ojo ha evolucionado de forma extraordinaria ya que ha sido un tema de preocupación constante en todas las épocas de la humanidad. Los griegos creían que la visión era debida a una serie de rayos que emitían nuestros ojos para recoger copias de los objetos y llevarlos al cerebro. Este modelo no andaba desencaminado puesto que lo que realmente hacen nuestros ojos es ser captadores de los rayos de luz procedentes de las cosas. Esta es la forma más natural que tiene el ser humano de integrarse en el propio entorno en el que se desarrolla.

La realidad virtual es, o por lo menos, debiera ser, una forma de interactuar en un entorno que, en este caso, es artificial. La única forma que tiene, hasta ahora, el ser humano de acometer esta empresa tiene como intermediarios a sus sentidos, por lo que el sistema visual, al igual que en nuestro medio natural, debe gozar de una gran relevancia.

El principal problema que tiene la tecnología de la realidad virtual es la falta de definición, con su consecuente pérdida de realismo, en las herramientas de visualización. Los cristales líquidos de las gafas estereoscópicas o de los cascos, limitan la inmersión en el ciberespacio en un porcentaje bastante notable. La tecnología será capaz, en unos años, de superar este problema. No obstante, es necesario un aporte mayor de realismo en los gráficos generados en tiempo real para que el usuario sea capaz de integrarse plenamente en los mundos artificiales.

4.3) CLAVES PARA LA CREACIÓN DE MUNDOS VIRTUALES

Una vez conocidos los fundamentos que componen la percepción visual del ser humano, es necesario apuntar las claves, tanto fisiológicas como psicológicas, a tener en cuenta a la hora de crear mundos virtuales. La capacidad real de integrar tecnología y percepción, permite crear espacios de interacción de una mayor calidad.

Las nuevas tecnologías intentan, cada día con más fuerza, copiar los modos en que los seres humanos nos relacionamos. Por ello, disciplinas tan dispares como la medicina, biología, psicología, filosofía, informática, ciencias económicas, matemáticas, telecomunicaciones y, por supuesto, teoría de la comunicación, estrechan y relacionan sus campos de estudio para que los medios se aproximen, de un modo natural, al objetivo anhelado de la comunicación global.

El objeto de estudio de esta tesis, la realidad virtual, necesita de la integración de todas estas disciplinas, así como, el trabajo en equipo de todas estas áreas, para que se produzca un mejor desarrollo de los mundos artificiales. Por ello, la necesidad de apuntar las claves que a continuación se describen y que permitirán al diseñador informático, en menor o mayor medida, crear mundos artificiales basados en constancias perceptivas que aquí se han tratado de elaborar.

Dichas claves son:

1. Los gráficos deben tener bordes muy definidos y las texturas deben ser simples, de fácil asimilación.
2. Además, es fundamental dar prioridad a los bordes en detrimento del modelado de texturas.
3. Hay que evitar los gráficos con alta luminosidad o con una iluminación homogénea.
4. En cuanto al color, hay que tener en cuenta que el rojo es el color que más atrae la atención perceptiva, mientras que los azules son los que menos.
5. Aprovechando la posibilidad de discriminar el fondo de los objetos, se debe procurar que los objetos desaparezcan de modo gradual y no bruscamente. Para ello, se debe variar el color del objeto hasta conseguir el mismo que el del fondo.
6. Hay que tener en cuenta que el color de los fondos caracteriza, en gran medida, el color de los objetos que, sobre él, descansan.

7. Esta misma característica nos sirve para detener movimientos, ya que se puede camuflar el objeto en movimiento hasta que iguale su color con el del fondo.

8. Los gráficos en blanco y negro aportan, no obstante, suficientes datos de credibilidad perceptiva y ahorran velocidad de procesamiento a los ordenadores.

9. Las figuras fuertes sobre un fondo suave provocan una mejor articulación que las figuras suaves sobre fondos fuertes. Los fondos fuertes producen mejor articulación, en ambos casos.

10. Con fondos complejos, la articulación figura-fondo es menor. Con fondos simples, la articulación figura-fondo es mayor.

11. Es mejor construir objetos a partir de figuras complejas, como círculos o cuadrados, que construirlos a partir de líneas.

12. Si queremos evitar referencias de movimientos, hay que hacer predominar las horizontales sobre las verticales.

13. Las líneas gruesas se mueven más despacio que las líneas finas, aunque el movimiento de éstas últimas es más suave.

En la misma medida, cuanto más marcado sea el carácter de figura, menor será la movilidad de un objeto.

14. No hay que situar ningún objeto en el extremo de la periferia del campo visual, para no provocar que nuestros ojos se giren a ver el objeto.

15. Las claves pictóricas que han tenido en cuenta todos los pintores a lo largo de la historia, son también importantes. Estas son:

- FAMILIARIDAD PREVIA
- INTERPOSICIÓN
- LINEALIDAD Y PERSPECTIVA DE TAMAÑO
- DISTRIBUCIÓN DE SOMBRAS E ILUMINACIÓN
- MOVIMIENTO (O MOVIMIENTO MONOCULAR)

PARALELO

Todas estas claves ya han sido explicadas en la página 136 de la presente tesis.

16. Para crear tres dimensiones hay que tener en cuenta el algoritmo de Marr y Poggio, cuyas restricciones son las siguientes:

- los puntos que van a ser emparejados deben parecer casi igual físicamente.
- el punto de la imagen que vaya a un ojo debe ser emparejado con uno idéntico que vaya al otro ojo.

- la disparidad debe variarse suavemente en todas las partes de la imagen.

17. Crear espacios virtuales con puntos de atención prefijados por el usuario, facilitaría el hecho perceptivo, a la vez que no tendríamos que crear continuamente los contornos de las figuras que constituyen los puntos de atención. Aumentaría, de este modo, la velocidad de procesado de los ordenadores puesto que tendrían que gestionar menos datos.

Todas estas claves han sido previamente justificadas en los dos epígrafes anteriores. El diseñador de mundos virtuales será el encargado de intentar ponerlas en la práctica, aunque este punto podría resultar objeto de otra tesis.

Capítulo 5.

EL SENTIDO DEL OIDO Y EL SONIDO EN LA REALIDAD VIRTUAL

En el capítulo anterior hemos abordado la importancia del sentido de la visión para recibir información del mundo exterior. La existencia de otros sentidos determinará la lista completa de datos que necesitamos para que el cerebro procese el entorno que nos rodea.

El sonido juega un papel fundamental tanto en el mundo real como en la realidad virtual. El sonido nos sitúa, por sí sólo, en un entorno determinado, aportando toda la información necesaria a nuestro cerebro para llegar a crear mundos cognitivos sin necesidad de imágenes visuales.

Todos los sonidos, quedan definidos por Aukstakalnis y Blatner (1993, 94) son "el resultado de una fuerza que provoca la vibración de un objeto". Las vibraciones hacen que las moléculas de aire choquen unas con otras, generando ondas de presión que nuestro sistema auditivo convierte en sonidos. Pero el sonido no sólo viaja a través del aire, sino que lo hace a través de cualquier medio con una determinada densidad. El sonido viaja a través del aire con una velocidad de 340 metros por segundo, a través del agua a 1.500 metros por segundo, y por el acero a 5.000 metros por segundo. El sonido, por tanto, necesita de un medio para viajar, por lo que en el vacío no hay sonido. El físico inglés Robert Boyle descubrió este fenómeno en el siglo XVII, gracias a un experimento que consistía en colocar un timbre dentro de una campana en vacío. Si hacía sonar el timbre en estas condiciones, el timbre no sonaba, pero cuando llenaba la campana de aire el timbre se oía perfectamente.

Asimismo, las ondas sonoras se debilitan a medida que se alejan de la fuente sonora. La velocidad a la que se mueve el sonido es siempre la misma, pero la intensidad es cada vez menor.

La intensidad, que gráficamente se representa como la amplitud de la onda, se mide en decibelios (dB). Se puede afirmar que, aproximadamente, cuando la intensidad se incrementa en 10dB, dicho sonido se percibe como el "doble" de fuerte. Como ejemplos diremos que un susurro tiene una intensidad de 20 dB, el habla normal está en torno a unos 60 dB, y el umbral de dolor en unos 120 dB.

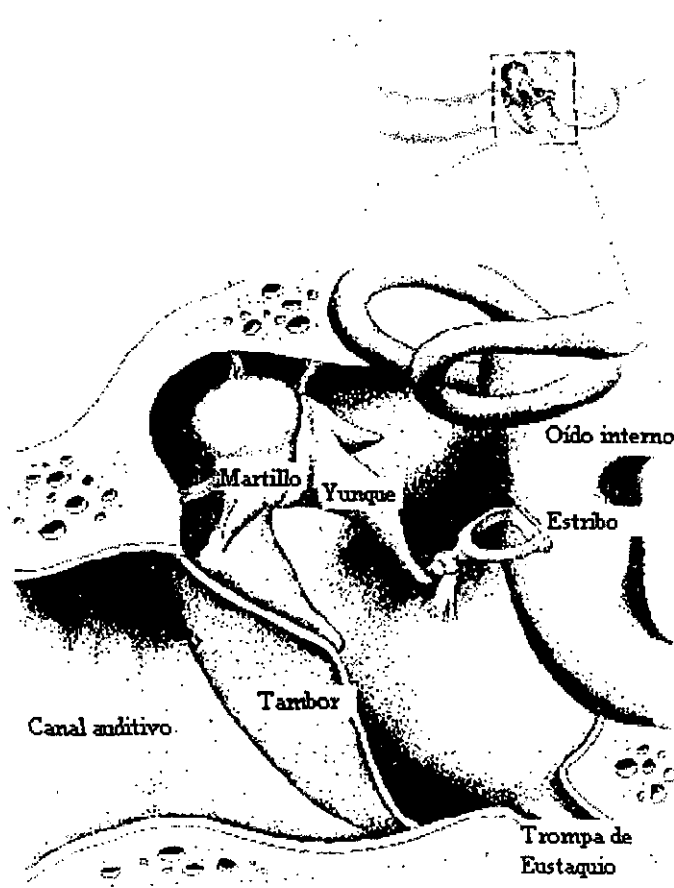
La frecuencia se representa gráficamente mediante un mayor o menor número de picos o valles que pasan por un mismo punto. La frecuencia se mide en hercios (Hz) y está directamente relacionada con su tono: las frecuencias altas son los agudos y las frecuencias bajas son los graves.

Otro aspecto importante del sonido son los ecos, los cuales se producen cuando el sonido rebota en un medio que el sonido no es capaz de atravesar. Es un buen instrumento para herramientas como los radares, puesto que gracias a esta facultad del sonido pueden localizar a que distancia se encuentra un determinado objeto.

El oído humano es capaz de detectar cambios en la presión del aire infinitamente pequeños. No obstante, fue el equilibrio el primer atributo funcional del órgano "auditivo" en la mayoría de los vertebrados, incluyendo el hombre.

El área perceptiva humana está delimitada por dos umbrales: el de la percepción mínima y el del dolor. Esto comprende frecuencias desde los 20 Hz hasta los 20.000 Hz.

Pero, ¿cuál es el camino que recorre el sonido desde que es captado por la oreja hasta que es procesado por el cerebro? Las orejas son el punto en el cual llega el sonido, siendo los pliegues de la misma, los que guían al sonido hacia el interior de la misma. El sistema auditivo, es decir, donde realmente se captan las vibraciones del aire y se convierten en sonido, se halla situado en una cavidad de un hueso compacto, denominado hueso temporal.



El oído humano

Las orejas, situadas exteriormente en el cuerpo, están formadas de piel y cartilago y son el punto de inicio del canal auditivo que es el primer paso del *oído externo*.

El *canal auditivo* mide un centímetro de diámetro por varios de longitud dependiendo del tamaño de la cabeza. Su forma amplía el sonido en unos 10 dB cuando éstas inciden en el tímpano.

El *tímpano* está al final del canal auditivo y su forma ovalada está reforzada por un esqueleto similar en forma, a un paraguas. El sonido hace que el tímpano vibre y tiene una tensión determinada para transmitir la vibración.

El sonido pasa al *oído medio*, que es una cámara parcialmente cerrada en la cavidad del hueso temporal, llena de aire y unida a la faringe por la *trompa de Eustaquio*, en el que nos encontramos con una serie de pequeños huesos con nombres que describen su aspecto: el *yunque*, el *martillo* y el *estribo*. El tímpano a la llegada del sonido se comprime y vibra, para hacer que los tres huesecillos vibren consecutivamente y en el orden antes citados. El estribo hace vibrar a la *ventana oval* que es el punto de unión con el oído interno. Estos huesos no son meros conductores del sonido, sino un sistema de palancas que actúa como segundo potenciador del sonido. Esto, unido a la diferencia de tamaño del tímpano (80 mm² aprox.) con respecto al de la ventana oval (3 mm²), incrementa treinta veces la amplitud de la onda sonora, lo que nos posibilita para oír sonidos muy intensos. Pero, en sentido contrario, el oído medio puede actuar como inhibidor de sonidos fuertes, tensando el tímpano, lo que hace girar al estribo y, de este modo, se protege al oído interno de un ruido demasiado intenso.

En el *oído interno* las ondas sonoras se transforman, finalmente, en señales electroquímicas que pasan al cerebro. El oído interno consta de tres partes: la cóclea, el órgano de Corti y el nervio auditivo. El oído interno está encerrado en el temporal y sus formas son a modo de canales semicirculares.

Antes de la cóclea, se encuentran el sáculo y el utrículo, como receptores del estímulo. Están recubiertas por las máculas, que son las células especializadas en dar la sensación de posición y equilibrio.

La *cóclea* o caracol, es una cavidad en forma de espiral situada en el cráneo y que, en su mayor parte, está llena de un fluido muy parecido al agua salada, denominado endolinfa. Está compuesto de tres cámaras: el canal vestibular, el canal timpánico y el conducto coclear. Este último es la cámara central, siendo más pequeña que las otras dos, quedando separada por dos membranas que evitan que el fluido pase de una cámara a otra. No obstante, los canales vestibular y timpánico están conectados por un pequeño agujero.

El estribo, como hemos mencionado, se halla unido a la ventana oval, que se encuentra en la base del canal vestibular. Por aquí pasan las vibraciones sonoras a la solución salina de la cóclea convirtiéndose, de este modo, en ondas de presión en un fluido.

Dichas ondas empujan hacia el canal vestibular y hacia el canal timpánico. Este último tiene situada en la base la *ventana redonda*, que compensa la presión del fluido abultándose hacia la cámara de aire del oído medio. Es el mecanismo de escape para las vibraciones del líquido y, en ella, se encuentra una membrana que vibra en fase con los impulsos recibidos por la ventana oval.

Entre el conducto coclear y el canal timpánico existe la *membrana basilar*, que sirve para amortiguar los picos de determinadas frecuencias. Para llevar a cabo esta tarea, la membrana se alarga para discriminar sonidos de distinto tono; también es sensible a las distintas longitudes de onda en los lugares correspondientes, variando su anchura en función de los mismos. Las vibraciones de esta membrana mueve los pelos celulares, de los que hablaremos más adelante, y que pone en funcionamiento el órgano sensitivo del oído, es decir, es la que estimula al órgano de Corti para transformar ondas en señales eléctricas que es el lenguaje de funcionamiento del cerebro.

Pero es el *órgano de Corti* el que convierte las ondas del fluido del canal coclear en impulsos electroquímicos, para su posterior traducción en el cerebro. El órgano de Corti tiene dos regiones de células ciliares con protuberancias en el fluido del conducto coclear. Si las ondas se mueven en el fluido, estas protuberancias se doblan, generando reacciones químicas análogas a las de los fotorreceptores de los ojos. Existen alrededor de 23.500 células ciliares midiendo las ondas sonoras de la cóclea. La frecuencia de la onda determina la situación del pico de dicha onda en el canal timpánico y, por consiguiente, en el órgano de Corti. La intensidad de la onda causa una flexión, más o menos acusada, de las células ciliares

El camino por el que estos impulsos electroquímicos llegan al cerebro se llama *nervio auditivo*. Está formado por 50.000 fibras, cada una de las cuales es un axón de una célula nerviosa del oído interno.

El procesamiento del sonido en el cerebro es algo más complejo que el visual: en el núcleo coclear los datos se separan en varios caminos, que se juntan en la región del cerebro conocida como *córtex auditivo*. Es, también, en el núcleo coclear donde se combinan las informaciones procedentes de cada uno de los dos oídos, siendo las *células binaurales* las que se encargan de asumir este papel, que es fundamental a la hora de determinar la procedencia de un sonido en un entorno auditivo de 360 grados.

Existen neuronas especializadas en ciertas características del sonido como la dirección de la que procede, los cambios tonales,... Las neuronas, en general, más alejadas del nervio auditivo gozan de una mayor especialización.

Según L.M. Del Pino González (1995, 59) el sonido tiene cuatro funciones primordiales en una aplicación de realidad virtual: la informativa, la metafórica, la artística y la descriptiva.

La función informativa del sonido es común en casi todas las aplicaciones, no sólo

de realidad virtual sino de la informática en general. Se utilizan señales acústicas para informar de que se ha realizado una acción determinada, tal como, pulsar un botón.

La función metafórica es la que se emplea sonido como un código determinado. En un semáforo en verde para el peatón hay un sonido que indica esta característica. De este modo, las personas ciegas no tienen problemas para cruzar la calle. El sonido tiene la principal ventaja con respecto a la imagen, de que no necesita de una atención constante por parte del usuario. En realidad virtual, hay sonidos que se utilizan para informar sobre la proximidad a un cierto peligro - si de un juego virtual estamos hablando -, haciéndose más intenso a medida que nos acercamos a ese punto.

La función artística del sonido sirve para crear ambientes en las aplicaciones. Si estamos en un edificio virtual será más agradable el paseo si hay una música constante, a modo de hilo musical del edificio.

La función descriptiva es la que hace verosímil un mundo virtual. Si estamos jugando con un plato y éste se nos cae, es fundamental reproducir el sonido de un plato cuando se estrella con el suelo y se rompe, para que la acción sea creíble. Además, hay que tener en cuenta la localización del sonido, es decir, si el plato se rompe a la derecha o a la izquierda, delante o atrás, de la posición del cibernauta. Esto es lo que se llama sonido 3D, que es el más empleado en toda clase de aplicaciones de realidad virtual. Todas estas características unidas hacen real a un mundo virtual en la misma proporción que la imagen, ya que el oír un espacio virtual crea una mayor sensación psicológica de inmersión y ayuda a comprender más fácilmente la realidad de la escena.

Pero, como hemos dicho, lo fundamental del sonido en realidad virtual es crear sensación de realidad al cibernauta. En el mundo real nosotros podemos localizar un sonido, en los tres ejes del espacio, a partir del sonido mismo. En los mundos virtuales debe suceder lo mismo. Las técnicas de localización del sonido asocian sonidos con imágenes y permiten que el usuario se percate de la proximidad de los objetos o de acontecimientos que caen fuera de su actual campo de visión.

En el mundo real el hombre localiza el sonido a partir del retardo que se produce a la llegada del sonido, entre un oído y otro; también es clave las diferencias de intensidad y las sombras acústicas.

Las imágenes visuales que llegan a nuestros ojos sufren también un retardo entre un ojo y el otro, retardo con el que el cerebro crea la visión estereoscópica. Este retardo interauricular, que es bastante pequeño, se hace suficiente para que el cerebro procese la posición relativa de la fuente. Es fácil imaginar que un sonido llegue antes a un oído que a otro, puesto que la fuente sonora, normalmente, está más cerca de uno que de otro. Tan sólo si la fuente sonora está justo delante o detrás nuestra, no obtendremos ningún tipo de información aunque esto no suele ocurrir casi nunca debido a que la cabeza no está quieta ni un segundo, y cualquier variación respecto al eje del sonido vale para localizar la fuente.

Los sonidos, no obstante, tienen diferentes intensidades dependiendo de la posición de la fuente y del propio causante del sonido. Una fuente que está más cerca del oído derecho tendrá una intensidad mayor en este oído que en el otro. Una fuente sonora que genera sonidos de baja frecuencia, es decir, los graves, tiene menor intensidad sonora que los de alta frecuencia, los agudos. Este fenómeno es debido a que la longitud de onda de las frecuencias graves es mayor que el diámetro de nuestra cabeza: la longitud de onda de una frecuencia de 100Hz en el aire es de 0,3 metros. Por tanto, nuestros oídos no pueden medir la diferencia de intensidad o amplitud entre uno y otro lado. Las frecuencias altas tienen longitudes de onda menores que la distancia existente entre nuestras orejas, por lo que se puede medir con facilidad las diferencias de amplitud. Pero para estos sonidos de alta frecuencia existe una mayor facilidad de bloqueo en el sistema auditivo puesto que, de otro modo, seríamos casi incapaces de escuchar frecuencias graves en muchos momentos. Este medio es lo que se llama sombra acústica y consiste en criterios que tiene el cerebro para discernir la diferencia de intensidad de las ondas sonoras según el lado en el que repercutan y según la intensidad del propio sonido.

A esto se le deben añadir otros factores influyentes en la localización del sonido. Los pliegues del pabellón auditivo sirven de filtro para distorsionar la señal sonora según la dirección de la que proceda.

Otro factor es la ayuda visual: si somos capaces de ver la fuente sonora es más fácil localizar el sonido. Ver para creer. El estar familiarizados con el sonido es otra gran ayuda.

El eco del sonido, es decir, las diferentes reflexiones en el medio, nos dan una idea clara del espacio en el que nos movemos. Si hablamos en una habitación vacía de muebles, suena distinto de que si lo hacemos en la misma habitación llena de muebles. Esta característica del sonido es fundamental a la hora de aplicaciones de arquitectura virtual. Si un arquitecto está navegando por una sala de conciertos, necesitará irremediablemente indicadores precisos a través del eco. De este modo podrá hacer más claramente sus mediciones para dejar una sonorización perfecta en la sala, que es precisamente su objetivo primordial.

El cerebro procesa todos estos datos que llegan a cada instante para localizar la posición exacta del sonido, en el mundo tridimensional en el que nos movemos. Otra vez, el cerebro es la clave de todo.

El modo más sencillo de conseguir la simulación de localización de sonidos es por medio de la audición estereofónica. Son dos altavoces en lo que se emite el mismo sonido pero a intensidades distintas. El punto en el que asociamos que se encuentra el sonido se sitúa en la línea de unión de los dos altavoces. Tan sólo hay que controlar el lugar del mundo virtual donde se encuentra el usuario y el volumen de los altavoces. Pero en realidad virtual no nos movemos en un espacio bidimensional sino tridimensional, por lo que estos métodos resulta insuficiente en bastantes ocasiones.

El sonido se puede tratar de muy diversas maneras en las aplicaciones de realidad virtual. Se pueden grabar secuencias musicales o de ambientes y, posteriormente, muestrearlas para reproducirlas en momentos determinados. El problema es que habrá un número limitado de archivos sonoros que ocupan una gran cantidad de memoria.

Otro modo diferente de trabajar el sonido es a partir de sintetizadores. Estas máquinas son totalmente controlables a través de un ordenador y le podemos ordenar que generen notas con todas las características que le vayamos asignando en un determinado instante de la aplicación, que nosotros asignamos mediante órdenes directas. El almacenamiento se reduce considerablemente, tan sólo habría que archivar las secuencias de alto nivel, y la sensación de realidad se consigue en un grado mayor. El sintetizador genera efectos tales como el sonido de una sartén al que se le echa un filete al freír y después se la quita del fuego, con variaciones en la frecuencia del sonido. Y directamente, una aplicación del sonido gracias a sintetizadores, es el tocar un instrumento musical virtual.

Hasta ahora el sonido del que hemos hablado es bidimensional, es decir, estéreo. Esto quiere decir que el sonido sólo proviene o de la derecha, o de la izquierda, o de un lugar intermedio. En un sonido tridimensional, se tiene que hacer que éste surja de un punto concreto del espacio.

Para crear sonido virtual no hay que confiar en sonidos pregrabados sino en ordenadores capaces de generar sonidos en tiempo real. Si encendemos una televisión en una habitación, las ondas sonoras que llegan a nuestro sistema auditivo provienen de los altavoces de la televisión y de las distintas reflexiones sobre la pared de la habitación. Si nos giramos, el sonido que está frente a nosotros quedan detrás. En realidad virtual debe suceder lo mismo. El ordenador debe cambiar la posición y orientación de la fuente sonora en tiempo real, cosa que no ocurre si los sonidos son pregrabados y situados en un único punto del espacio virtual.

Antes hemos visto que los pliegues de las orejas son como huellas dactilares del sujeto, es decir, cada persona tiene un pabellón auricular de distinta forma lo que hace que dos personas oigan el mismo sonido localizado en un mismo punto de distinto modo. Klaus Genuit, Hans Gierlich, Fred Wrightman y Doris Kistler han estudiado este fenómeno y han desarrollado modelos matemáticos para representar las diversas modificaciones del sonido. Estos modelos se llaman "funciones de transferencia relacionadas con la cabeza" (HRTFs - Head Related Transfer Functions). Estos modelos se meten en el ordenador y los sonidos que llegan al mismo son filtrados a través de los HRTFs para, posteriormente, ser enviados a los auriculares o altavoces.

Scott Foster de la Crystal River Engineering, en 1988, tradujo esta forma de trabajar del sistema auditivo en una tarjeta de sonido, llamada Convolvotron, que simula las tres dimensiones. El Convolvotron, Del Pino (1995, 114), *"es un sistema de procesamiento*

digital de señales de audio de gran potencia, que permite modificar (hacer una convulsión a una fuente de sonido analógica), mediante una HRTF, para crear un efecto sonoro tridimensional".

Esta tarjeta permite digitalizar un máximo de cuatro fuentes sonoras simultáneas, pero sin tener en cuenta las reflexiones del sonido en los objetos, o digitalizar una fuente sonora y simular la reflexión sonora en un máximo de seis superficies. El sensor Polhemus sigue los movimientos del usuario, para ajustar el sonido en consecuencia.

Todos los efectos sonoros se deben procesar para introducir el efecto de localización 3D. Las músicas y los avisos acústicos no necesitan de este procesamiento. Todas estas secuencias se suman y el resultado se envía a los altavoces; por tanto, mediante la combinación del sonido 3D y el seguimiento de la posición/orientación se crea un entorno auditivo extraordinariamente realista. El usuario disfrutará, en todo momento, de una sensación de realidad sonora muy estimulante para su inmersión psicológica en los mundos virtuales.

La empresa Virtual Audio Systems ha desarrollado el Virtual Audio Processing System (VAPS), que mezcla las grabaciones binaurales no interactivas con un procesamiento de las señales parecido al Convolvotron, para generar campos sonoros tridimensionales tanto en vivo como pregrabados. Este sistema no sólo está pensado para la realidad virtual, sino también para el sonido en cine y televisión, por su gran capacidad para obtener efectos tridimensionales bastante realistas sin gran capacidad técnica, lo que abarata los costos considerablemente. El único problema es que los sonidos no son interactivos, es decir, siempre están situados en un mismo punto, por lo que si te desplazas en el ciberespacio el sonido no se desplaza nunca, perdiéndose, de este modo, realidad sonora.

Las líneas de investigación van por el camino de recrear las distintas reverberaciones que produce la reflexión del sonido en los objetos. Hasta ahora todos los sonidos pregrabados se han hecho en cámaras aecoicas, es decir, sin eco. Pero esto nunca se produce en el mundo real.

Las dos líneas de investigación que se han tomado pasan por: la primera es crear HRTFs similares a los del canal auditivo, y el trazado de rayos de los gráficos generados por ordenador.

El primer método exige de unos cálculos matemáticos muy complejos que imposibilitan, hasta estos momentos, la simulación en tiempo real.

El segundo método consiste en colocar fuentes sonoras auxiliares detrás de las superficies reflectantes siendo el ordenador el que determina el volumen sonoro de estas fuentes sonoras en cada momento. El resultado es que el sonido parece salir de las superficies reflectantes. Este método exige, también, una gran potencia de cálculo, lo que no lo hace viable, todavía, para crear espacios sonoros en el que se incluyen toda clase de

sutilezas sonoras, pero que dan la auténtica veracidad a un entorno.

No obstante, el desarrollo del sonido tridimensional está notablemente más avanzado que el desarrollo de la imagen visual tridimensional. Actualmente, existe una gran facilidad para crear sonidos hiperrealistas. Además, existe un gran interés económico en su investigación, ya que todos los fabricantes de ordenadores lo han incorporado a sus máquinas debido a la gran demanda existente, por parte del usuario, para trabajar en un entorno cada vez más realista, ya sea virtual o no.

Capítulo 6.

EL SENTIDO DEL OLFATO

El sentido del olfato proporciona dos facultades a los seres vivos que lo poseen: detectar y reconocer moléculas extrañas a la vez de ser capaz de discriminar entre ellas. En los humanos no hay dos sistemas olfativos iguales, sino que cada persona define los olores de un modo propio. Lo que sí queda claro es que existen diferentes receptores nasales para una variedad de olores.

Las estructuras primarias de las que depende el sentido del olfato son las neuronas olfativas, y se hallan localizadas en la parte superior de las fosas nasales. El epitelio olfativo contiene unos diez millones de neuronas olfativas, cada una de ellas con una vida media de cerca de un mes, y cuando mueren son reemplazadas inmediatamente por otras. La cabeza globular de cada neurona se encuentra recubierta por entre 5 y 20 cilios especializados, los cuales contienen receptores para la recepción del olor. Cuando una neurona olfativa interacciona con una molécula, se genera una onda de despolarización, que se transmite al cerebro a través de haces nerviosos formados por los axones de más neuronas olfativas.

Este método de funcionamiento es similar al que encontramos en la recepción de la luz por medio de los bastoncillos. Parece ser que, al unirse a las neuronas olfativas e igual que en las células fotorreceptoras, algunas moléculas odorantes desencadenan una cascada de actividad enzimática que es inicialmente responsable de la transducción de señales en las neuronas olfativas.

Sin embargo, la naturaleza de los receptores del olor no es aún bien conocida. Todos sabemos que la variedad de olores que se pueden producir en la naturaleza es ilimitada. Por tanto, tiene que haber una neurona olfativa especializada en cada molécula odorante por muy sutil que fuera la diferencia en los distintos olores. No se sabe con certeza, pero se creen que existen hasta unos diez mil receptores olfativos distintos. El sentido de la visión tan sólo tiene cuatro tipo de células fotorreceptoras (un tipo de bastoncillos y tres de conos), suficiente para cubrir la región visible del espectro.

Aunque en el número de receptores en los sistemas visual y olfativo se producen grandes diferencias, no las hay tanto en los mecanismos de transducción de señales en impulsos nerviosos para su posterior interpretación en el cerebro. Estas similitudes mecánicas sugieren un origen evolutivo común para estos sistemas de transducción.

Capítulo 7.

HERRAMIENTAS CLASICAS DE REALIDAD VIRTUAL

7.1. EL HEAD MOUNTAIN DISPLAY (HMD)

El interface personal más avanzado, útil, cómodo y extendido que existe, hasta estos momentos, es el ratón. La interacción con el ordenador se produce de un modo bastante sencillo: tan sólo debes pulsar el cursor, que manejas con el ratón, sobre un gráfico o una palabra y ejecutas el programa que representa. Lo que se pretende es una comunicación cuyo código sea lo más visual y simbólico posible, para evitar, en todo lo que sea posible, tanto distintos idiomas lingüísticos como distintos idiomas de programación informática. Con esta filosofía nació el ratón.

La evolución lógica es intentar manejar la información en una interacción plena con ella. Algo así como meterte dentro de una habitación llena de cajas y baúles y te pusieras a colocarlos siguiendo unos determinados parámetros que te has marcado previamente y viendo las posibilidades de distribución que posee nuestra habitación. Esto, que puede parecer una metáfora, es lo que se puede llegar a conseguir con la realidad virtual: trabajar de un modo interactivo pleno con la información desde un único punto de vista único, el visual. De este modo, casi todos los conceptos básicos que se deben aprender en informática por el usuario pasarían a estar en el baúl de los recuerdos.

El Head Mountain Display o HMD es lo que en castellano se conoce como casco estereoscópico y es uno de los interfaces que se usan para conseguir este objetivo de la realidad virtual. En realidad, el casco se ha convertido en su instrumento más característico, en tanto en cuanto, ha sido el más difundido por los medios de comunicación como paradigma de visualización clave a la hora de interaccionar con mundos artificiales.

Nosotros tenemos que decir que esto no es así. No hay un paradigma clave a la hora de trabajar con realidad virtual. El dispositivo que nosotros empleemos para presentar nuestro ciberespacio al usuario debe estar en completa concordancia con el tipo de aplicación desarrollada y con la calidad del equipamiento empleado para la creación del

ciberespacio. De nada sirve utilizar un casco estereoscópico con un grado alto de inmersión si el espacio creado en el ordenador es de una muy pobre resolución debido a las características del sistema empleado, o al hecho de que no necesitemos una mayor definición para que sea eficaz el resultado de la aplicación.

Nunca debemos olvidar que el casco estereoscópico es tan sólo un dispositivo de salida de nuestro mundo con un grado de inmersión bastante alto, pero con un escaso poder de resolución debido al tipo de pantallas que debe usar para la presentación de gráficos tridimensionales.

El casco estaría compuesto por un par de pantallas de cristal líquido pasivas (*LCD*) en color, más unos auriculares estereofónicos para el sonido junto a un sensor de posición adherido al casco, que permite conocer la orientación y ubicación de la cabeza del usuario. Con estas herramientas se intenta conseguir la visión estereoscópica y la sensación de inmersión aislando al cibernauta del mundo exterior por lo que pierde toda referencia de la realidad y, de este modo, aumenta la apariencia de realidad del espacio generado por el ordenador.

Los LCDs se emplean en los cascos por ser pantallas muy ligeras y poco voluminosas. Estos dos aspectos son fundamentales en el caso del casco, ya que éste debe ser ligero puesto que el usuario lo lleva sobre la cabeza y el excesivo peso resultaría incómodo. Los LCDs son definidos por Aukstalianis y Blatner (1993, 72) como *modificadores de luz* consistentes en dos paneles de cristal entre los que hay una amplia red de celdas o pixels que contienen cristal líquido para bloquear el paso de la luz. Cuando no hay luz no hay señal eléctrica y los cristales se mantienen en una determinada orientación, la cual cambia a medida que van pasando señales eléctricas por ellos debido a la existencia de ondas luminosas. Los LCDs son empleados, principalmente, en los relojes digitales. La luz entra en por el LCD y se refleja en la parte trasera del reloj. Los caracteres alfanuméricos se consiguen bloqueando y desbloqueando ciertas partes para que no reflejen luz. En los televisores que es usada esta tecnología se añade unos filtros rojo, verde y azul que son atacados por la radiación de onda luminosa que le corresponde a cada uno. De la combinación existente resulta la ilusión de imágenes en color que nosotros somos capaces de ver.

En un casco cada una de las dos pantallas de LCD, una por ojo, llevan lentes de aumento para aumentar el tamaño de la imagen y conseguir un ángulo de visión bastante bueno: 110° en horizontal y 90° en vertical es una buena proporción. Los estudios existentes en la actualidad sugieren que la sensación de inmersión en una imagen necesita una campo visual mínimo de 90 grados. El máximo nivel de inmersión se conseguiría con un campo visual de 270 grados, aunque con un casco se puede conseguir, virtualmente, el máximo nivel inmersivo, es decir, 360 grados, ya que mires donde mires verás imagen virtual. La

óptica a utilizar debe ser capaz de agrandar el tamaño de la imagen que nos llega por los LCDs pero sin distorsionar los objetos y la posición que ocupan en las imágenes, cosa que ocurriría, por ejemplo, si utilizáramos una óptica de ojo de pez. Para solucionar este problema la empresa LEEP ha desarrollado una lente gran angular estereoscópica. Se trata de un conjunto de seis lentes (tres por ojo) y 6'5 dioptrías, capaz de expansionar la imagen de un LCD de 2'7 pulgadas en un campo visual vertical y horizontal de 120 grados, para lograr un campo visual binocular de, aproximadamente, 90 grados. Para conseguir este máximo objetivo hay que crear las imágenes comprimidas en los extremos para que, posteriormente, sean descomprimidas por las lentes y pueda verse, de este modo, la imagen en la proporción adecuada. Los pixeles de los LCDs son de un tamaño tal que para no ser vistos hemos de estar separados a una distancia superior a los 60 centímetros, ya que más cerca se pueden apreciar de un modo individual. Este problema ha sido solucionado por este tipo de lentes LEEP que ha quedado como estándar dentro de la industria de fabricación de cascos para realidad virtual.

Como último paso hay que contar con una serie de elementos de filtrado que reducen la sensación de granularidad que las pantallas de LCD contemplan entre sus características.

Los LCDs son los únicos tipos de monitores con posibilidades de ser instalados en un casco estereoscópico debido a su poco peso y reducido volumen, pero tienen como inconveniente principal su escasa resolución gráfica. La calidad de la imagen que presentan es, también, bastante pobre, debido a los problemas de brillo y contraste que los LCDs presentan. La máxima resolución conseguida hasta ahora es de unos 400*300 pixeles por pantalla. Los fabricantes multiplican por tres esta cifra, ya que ellos dan el dato de la resolución de la matriz, es decir, el número de puntos que la componen. Hay que dividir esta cifra por tres ya que cada pixel requiere de tres puntos de la matriz, uno por cada uno de los colores primarios, es decir, rojo, verde y azul. No obstante, se está probando con bastante éxito un casco de una resolución bastante notable, 1280*960 pixeles de color por ojo. Esta gran cantidad de pixeles se han llegado a conseguir haciendo que no haya que descomponer la luz. Esto es, antes la luz tenía que pasar por tres filtros:

—> R

—> G

—> B, por lo que se requerían de tres pixeles para formar un único punto de luz. Con este nuevo tipo de casco la luz sigue este proceso:

—> R—> G—>B, por lo que tan sólo es necesario un pixel para formar un punto de luz de la imagen. Se triplica la funcionalidad de cada pixel.

Hay que tener en cuenta, también, que el usuario está pegado a las pantallas de LCD. Esto provoca un campo de visión mayor, por lo que la resolución disminuye, puesto que el usuario no está a la distancia mínima exigida para que los puntos que forman la imagen en una pantalla dejen de observarse. Esta escasa definición de imágenes hace que, por ejemplo, no se pueda usar textos dentro de las aplicaciones de realidad virtual que emplean visiocascos.

Hay cascos con LCDs monocromos con una mayor resolución, similar a la de una pantalla VGA. Las imágenes en blanco y negro pueden, de acuerdo con lo visto en la fisiología del ojo, incrementar en un elevadísimo porcentaje la sensación de realidad. Lo que perdemos porque nuestro mundo virtual no sea en color puede que lo ganemos en veracidad del ciberespacio con las imágenes en blanco y negro. La decisión siempre suele ir en función del tipo de aplicación que vayamos a gestionar. No obstante, el Departamento de Defensa Norteamericano y la ESA (European Space Agency), en la que está la empresa CASA (Construcciones Aeronáuticas, S.A.), están investigando en LCDs de alta resolución para poder ser usados en los cascos de realidad virtual.

Pero los avances no se van a quedar ahí. Actualmente, la proyección de imágenes virtuales directamente sobre la retina es el proyecto más ambicioso que existe. Ya no existiría el problema de los LCD, puesto que se emplearía rayo láser. Estos son todavía proyectos experimentales pero, hoy en día, existen algunas empresas, como Kaiser Electro-Optics, Honeywell, CAE Electronics y Sextant Avionique, que comercializan cascos "de transparencia", los cuales permiten la posibilidad de superponer imágenes reales con imágenes creadas artificialmente. Este tipo de casco es utilizado, principalmente, en aviónica.

Los problemas en los cascos estereoscópicos son, actualmente, bastante notables. Algunos están totalmente implícitos en el tipo de paradigma y son comunes a todo sistema inmersivo, como la imposibilidad de usar mecanismos complejos con el casco puesto o la sensación de indefensión que el usuario puede llegar a tener al no ver nada del entorno real en el que se está moviendo.

Pero sin duda alguna, el principal problema, ya comentado, es el de la baja resolución de cualquier casco estereoscópico. Las soluciones que se han encontrado a la baja resolución pasan por una reducción del campo de visión, lo que implica un menor grado de inmersión, aspecto éste estrictamente necesario para la realidad virtual. Las mangueras de fibra óptica, los displays secuenciales y los tubos de rayos catódicos de alta resolución se ha convertido en la mejor de las propuestas para los monitores en los cascos. El problema de los CRTs o tubos de rayos catódicos es que emiten radiaciones que dañan directamente al ojo. Además, al haber un tubo de vacío hay peligro teórico de explosión. Esta razón se convierte en algo fundamental a la hora de tomar la decisión de elegir entre

LCDs y CRTs. El contrapunto es su mayor interactividad y, sobre todo, el mayor grado de inmersión que se consigue con un casco. En el casco se necesita un mínimo de 20 fotogramas/segundo para que la inmersión sea admisible, aunque la media es de 30 fot/seg y el óptimo es de 60 fot/seg. En cuanto a sistemas de proyección, para apreciar la diferencia con respecto al casco, el mínimo admisible es de 15 fot/seg, la media obligada es de 20 ó 30 fot/seg y la media obligada con movimiento rápido debe ser igual o mayor a 60 fot/seg.

En el ámbito de percepción, la resolución depende de la definición de los píxeles, el campo de visión y el antialiasing. El antialiasing a toda pantalla por cada fotograma es esencial puesto que se interpolan los colores de los píxeles en mallas subpixel de 8000*8000. En realidad, lo que se hace es interpolar la definición, es decir, el ordenador trabaja con alta definición y luego hacen la media. Un ejemplo sería el que los 1280*1024 píxeles de resolución con que se suelen trabajar en gráficos, pasan a 960*980 píxeles con el antialiasing. El problema de los cascos baratos es que contienen difusores ópticos, los cuales invalidan este efecto.

Con el antialiasing se consigue una buena calidad de imagen. Aún así, el problema de la calidad de la imagen depende del número de polígonos por segundo, del número de polígonos sombreados por segundo y del número de polígonos sombreados texturados y con el antialiasing que tengamos en un segundo de la escena. Por poner un ejemplo, podríamos hacer el cálculo de que para una escena típica de 33.000 polígonos en color a 30 fot/seg para un casco estéreo necesitamos $33.000 \times 30 \times 2 = 1'98$ millones de polígonos es segundo y en tiempo real, lo cual supone un duro reto para cualquier sistema.

Otra dificultad con la que nos encontramos es la latencia. Desde que el usuario hace un movimiento hasta que éste repercute en la imagen de la pantalla existe un cierto período de tiempo, lo que puede provocar lo que se conoce como el "mareo de la simulación". Este problema es debido a la lentitud en la medición de los dispositivos electromagnéticos.

En un sistema de sobremesa el usuario es capaz de controlar el movimiento de las imágenes de un modo sencillo gracias a dispositivos como ratones, joysticks, etc. En los cascos hay un movimiento más, aparte de los manuales, como es el de la cabeza. Para cualquier persona normal, además, es bastante complicado mantener la cabeza en una posición perfectamente estática y, en este aspecto, el control del movimiento es bastante difuso debido, principalmente, a los mecanismos de localización empleados. El resultado es una imagen en continuo movimiento, que aumenta si el dispositivo de localización utilizado presenta un cierto grado de imprecisión. Esto provoca un aumento inútil de actualizaciones en la imagen generada que podría ser evitado por un sistema de filtrado de la señal que indica la posición del usuario, lo que provoca un aumento espectacular de la latencia.

Los cascos actuales no detectan la convergencia de los ojos ni su enfoque. La

solución que se pretende dar es un sistema de autofocus mediante software, para la imagen situada en el centro de la pantalla, es decir, en el centro del punto de vista del usuario.

La ergonomía del casco es uno de sus principales inconvenientes si no está bien resuelta. El casco ha de ser lo más ligero posible para facilitar al cibernauta el que lo lleve puesto sobre la cabeza el mayor tiempo posible, pero sin olvidar la solidez del mismo. Ha de ser cómodo y debe ser fácil de quitar y poner, por lo que tiene que ser adaptable a cualquier forma y tamaño de la cabeza. De otro modo, cada usuario debería tener un casco a su medida, lo cual resultaría imposible para una interacción inmediata con el sistema.

El origen de los cascos estereoscópicos se sitúa en el mismo origen de la realidad virtual. Sutherland en 1968 crea la espada de Damocles. Consistía en dos CRTs localizados en los extremos del casco y se podían visualizar imágenes alámbricas estereoscópicas que parecían superponerse al entorno real del usuario. Pero no es hasta 1984 cuando los científicos del Ames Research Center de la NASA, inician investigaciones cuyo objetivo único era la creación de un casco visualizador que soporte la estereoscopia, para emplearlo en la telerrobótica y en el manejo de estaciones espaciales. Este primer casco se construyó a partir de dos televisores de bolsillo Radio Shack en blanco y negro, cuyos LCDs medían 2'7 pulgadas en diagonal y tenían una resolución de 320*240 píxeles en blanco y negro. Fue en este momento cuando se decidió que el bajo consumo y el peso irrisorio eran la mejor baza para el uso de los LCDs en los cascos estereoscópicos.

El primer casco estereoscópico comercializado fue el Eyephone de VPL Research en 1989.

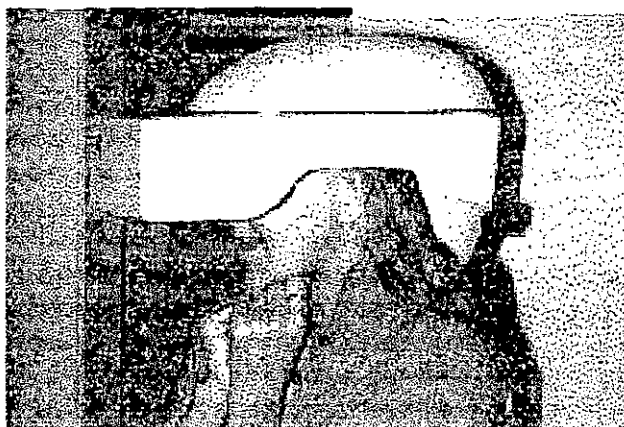


El Eyephone

Sus pantallas LCD poseían una resolución de 360*240 píxeles y mediante el uso de lentes LEEP de gran angular proporcionaba un campo visual de 100 grados. Una sujeción tipo máscara de goma de las gafas de los submarinistas, es lo que impide que entre luz. El seguimiento de la posición y orientación se hace a través de un sistema magnético Polhemus 3Space Isotrak, y todo el conjunto pesa alrededor de 1700 gramos. Actualmente fabrica dos modelos: el Eyephone LX y el Eyephone HRX. El primero tiene una resolución de 420*236, pesa 1,2 Kg, y tiene un ángulo de visión de 108° en horizontal y 76° en vertical. El sensor que utiliza es el Isotrak de Polhemus y tiene entrada de video NTSC. El HRX es más reciente y tiene una resolución de 720*480 pixels. Las lentes en ambos tipos ya no son las LEEP, sino que las han sustituido por un sistema propio de lentes Fresnel junto a elementos de difusión. Este tipo de óptica, junto a su nuevo sistema de anclaje llamado Saturn Ring, hace que todo el conjunto no pese más de un kilo.

El último modelo del Eyephone fabricado por VPL es el XVR, aunque se le conoce con el nombre de Fop. Funciona con los mismos LCDs que el modelo LX. Su esquema de trabajo puede ser igual a los dos modelos anteriores o operar siendo controlado por la mano. La estructura de la cabeza se desmonta para ser sustituida por un controlador denominado ZoomGrip. Si movemos este aparato la imagen se mueve acompasadamente y nosotros miramos la imagen a través de una especie de prismáticos herméticamente cerrados a nuestra cabeza para no dejar pasar la luz. Lo mejor de todo es que todo junto pesa tan sólo un kilo.

Otros modelos de casco fabricados por la misma empresa son el Flight Helmet, con 360*240 pixels de resolución, un kilo y medio de peso y sensores desarrollados por Logitech; el Eyegen 3, de 493*234 y el VR4, de 742*230 píxeles de resolución.



El Flight Helmet

Otro casco desarrollado sólo con vistas comerciales es el Visette de la empresa británica W Industries. Está pensado para ser el casco del videojuego Virtuality que ha tenido una gran aceptación popular. La resolución de las pantallas es de 276*327 píxeles y

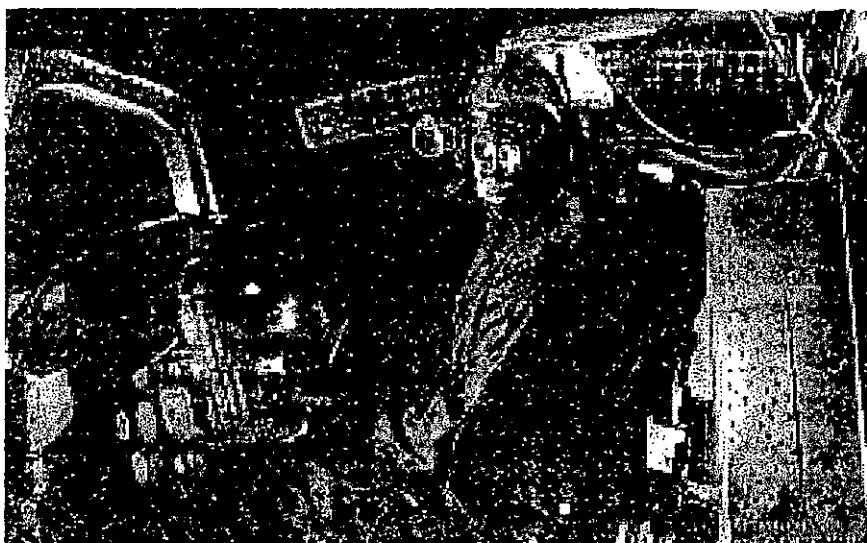
el campo visual puede ajustarse entre 90 y 120 grados. El sensor se llama Bird y es original de la empresa Ascension Technology.

Existen cascos fabricados por otras empresas, no con fines comerciales, como el CyberFace2 de Leap Systems, con las mismas características del EyePhone LX. Previamente existía el Cyberface I que era un curioso sistema de casco. La diferencia consistía en que en lugar de visualizar directamente las imágenes desde el ordenador, éstas eran recogidas por dos videocámaras y, a través de un sistema, eran enviadas al sistema. Si se dirigían a un monitor con gráficos animados tenías un ciberespacio en movimiento y, aunque pueda parecer un modo bastante complicado de visualizar una imagen, se comprobó que ahorra todos los complejos cálculos que implica la compresión de imágenes por los bordes necesario para el sistema óptico de LEEP.

Un punto fuerte en la investigación de este tipo de tecnología es la Universidad de Carolina del Norte. Aunque empezaron a principios de los ochenta, son especialmente conocidos por el diseño que hicieron en 1989 para el Air Force Institute of Technology de la base aérea de Wright-Patterson, de un casco visualizador instalado en un casco de ciclista. Sostenidos por dos pequeños brazos colocaron dos LCDs, además de los elementos de retroiluminación y lentes especiales. La colocación de los LCDs fue una tarea bastante complicada de resolver, ya que la nariz impedía la perfecta alineación con el eje óptico. Se optó por inclinar los LCDs para alojar la nariz. El resultado eran imágenes torcidas respecto al eje de la cara, defecto que tuvo que ser corregido mediante lentes especiales. La importancia de este sistema radica en su fácil construcción y bajo coste. Hoy en día han empezado a aparecer otros cascos de bajo coste como el StuntMaster de VictorMaxx Amusementns, con resoluciones y ángulos de visión más bajos que los utilizados en sistemas profesionales.

La Universidad de Carolina del Norte retomó la idea original de Sutherland de combinar imagen real con imagen generada por ordenador, puesto que podría llegar a ser útil para manejar, por ejemplo, una máquina y al mismo tiempo recibir todos los datos de la situación de la misma mediante gráficos. En este nuevo diseño los LCDs, de 2 pulgadas en diagonal y 220*320 píxeles de resolución, eran emplazados horizontalmente para que quedaran colgados a la altura de las cejas a modo de visera. Las imágenes visualizadas a través de los LCDs se proyectaban a través de unas lentes de aumento, hacia unos cristales semitransparentes con una inclinación de 45 grados proporcionado, por tanto, un campo visual de 45 grados. De este modo, el usuario es capaz de ver al mismo tiempo imagen real combinada con imagen generada por ordenador.

La empresa CAE Electronics, de Montreal, ha optado por un casco que emplea cable de fibra óptica para representar las imágenes. Los proyectores pasan las imágenes, a través de la fibra óptica, hacia el casco, donde son proyectadas a través de un sistema óptico que data al sistema de visión estereoscópica con un gran campo de visión. Los espejos semitransparentes ubicados delante de cada ojo permiten la integración del mundo virtual en el mundo real. Este sistema emplea la técnica del seguimiento ocular para desplazar un centro visual de alta resolución sobre un fondo de baja resolución. El centro visual mide 24*18 grados y está situado en la parte superior de un fondo que mide 130*65 grados. Este ajuste a dos niveles distintos de resolución se ajusta a los requisitos de los bastones y conos de la retina. De este modo, atacando directamente al ojo se reduce el cálculo necesario para generar imágenes de alta calidad. El seguimiento ocular se consigue proyectando una luz infrarroja sobre el perímetro de una ventana redonda de cristal fino y dentro de un espejo que refleja el ojo del usuario. La luz que vuelve reflejada desde el espejo es recogida por la cámara montada en el casco. Posteriormente, mediante el hardware y el software es determinada la dirección de la mirada mediante el análisis de la reflexión de los rayos infrarrojos emitidos.



Casco visualizador de fibra óptica, de CAE Electronics

El casco SIM EYE de la empresa Kaiser Electro-Optics está directamente implicado con el origen de la realidad virtual. Su utilización para el entrenamiento militar está muy extendido. Está especialmente indicado para simulación de visión nocturna, escenarios de misiones, vuelos rasantes y representación de escenas exteriores. Es un casco

algo diferente al resto previamente descritos. Lleva un CRT monocromático de una pulgada de diámetro y 1280*1024 pixeles a cada lado de un casco ligero. Las imágenes de los CRTs pasan, gracias a un complejo sistema óptico, a un combinador redondo delante de cada ojo. De este modo se superpone el entorno real del usuario, es decir, la cabina del avión, con el entorno gráfico.

Otro tipo de paradigma de visualización como es el Alternate Reality Vision System (ARVIS) se centra más en conseguir un campo visual lo más amplio posible. Mediante una combinación de pantallas de visualización curvadas y unas lentes de contacto calibradas consiguen un campo visual de 240 por 120 grados. La sensación de inmersión, por tanto, es mucho mayor. Las lentes de contacto son de una potencia óptica considerable para que las imágenes de las dos pantallas cóncavas aparezcan a la distancia adecuada de la cara. Concept Vision System, que es la empresa que fabrica este sistema, está pensando en un nuevo casco en el que no sea necesario usar lentes de contacto.

También se han creado cascos visualizadores monoscópicos en lugar de estereoscópicos. Uno de los más importantes es el Private Eye de la Reflection Technologies. Este sistema mide 3*3*7 centímetros y queda suspendido delante de la cara mediante una cinta alrededor de la cabeza a una distancia aproximada de 60cm. Da la sensación de tener un monitor de televisión de 12 pulgadas delante de la cara. Además, los ojos son capaces de acomodarse tanto al mundo real como al pequeño visor flotante. No utiliza LCDs sino que la imagen es generada por una columna de 280 LEDs que tiene enfrente un espejo que oscila rápidamente hacia detrás y hacia delante. Cada vez que el espejo se mueve, cada LED se enciende y apaga a razón de 720 veces por cada ciclo pendular del espejo. El espejo y los LED están sincronizados minuciosamente con lo que se consigue la apariencia de 280 pixeles horizontales por 720 pixeles verticales, pudiéndose modificar los pequeños elementos ópticos para cambiar la sensación de distancia a la que se encuentra la pantalla. El hecho de que sea una sola pantalla produce visión monocular, pero sincronizando dos aparatos, uno por ojo, es posible conseguir la estereoscopia.

El MRG2, de Liquid Image Corporation, es otro casco monoscópico, con un ángulo de visión de 100° y una resolución de 720*240 pixeles.

El futuro, a pesar de la mitología que se ha creado en torno al casco estereoscópico, pasa por los interfaces neuronales. Actualmente podemos encontrar dispositivos de este tipo asociados a los músculos del cuerpo. El salto a interfaces situados dentro del cerebro será tan sólo un escalón más en esta tecnología.

Los interfaces musculares más importantes de hoy en día son el *Biocontrol System* y el *Brain Wave Analyser*. El primero es un interface muscular que detecta los impulsos eléctricos y los muestra en pantalla. Existe uno ya adaptado al ojo y a los dedos, que están resultando muy útiles a la hora de aplicarlos para solucionar minusvalías.

El segundo es un sistema de detección de ondas cerebrales, lo que es un claro antecedente de lo que hemos llamado interfaces neuronales. Las aplicaciones que se hacen actualmente de este sistema se dan, sobre todo, en el arte y en la meditación.

7.2. EL GUANTE DE DATOS (DATA GLOVE)

El casco estereoscópico no es el único dispositivo de salida de información que existe y que es posible. Los datos nos pueden llegar a nosotros a través de cualquiera de los sentidos. Hemos apuntado en el capítulo anterior que la mayor cantidad llega a través del sentido de la visión, pero, no por esto es menos importante la cantidad de información que nos llega a través del sentido del tacto.

Al ojo le podemos engañar con ilusiones ópticas, pero al sentido del tacto es casi imposible. En este sentido, hay que afirmar que el tacto nos proporciona la información más fiable sobre los estímulos exteriores que llegan a nuestro cerebro. En el fondo, sólo tenemos dos ojos y dos oídos que, en un momento dado, podemos tapar; sin embargo, la piel, que es el mecanismo de recepción de señales sensoriales para este sentido, nos recubre todo el cuerpo siendo, por tanto, nuestro primer punto de contacto con el mundo exterior. Si existe un conflicto entre sentido de la visión y sentido auditivo, es el sentido del tacto el que nos aclara cualquier confusión.

No hay nada más frustrante que no tener la sensación de tocar algo cuando según el sentido de la visión lo estás haciendo. En el mundo real, si nuestros dedos no tienen sensibilidad, es casi imposible enhebrar una aguja. Si en el mundo virtual esto se produce con todos y cada uno de los objetos que lo componen, la irrealidad es casi completa fallando, por tanto, la interacción con el sistema. Si vas a cerrar una puerta y no tienes la sensación táctil de agarrar el pomo de la misma, no tendrás nunca la información de haberla cerrado.

La sensación táctil es algo que, tanto en el mundo real como en la realidad virtual, cumple un doble cometido: recibe y aporta datos al sistema. A este respecto, es el único sentido de los que verdaderamente actúan en realidad virtual, hoy en día, que cumple este doble cometido, lo que incrementa su valía para mejorar la naturalidad del interfaz con el ordenador.

La necesidad de recibir datos se había suplido, hasta el momento, con la introducción de sonidos a medida que realizábamos acciones. Por ejemplo, si llegamos a cerrar la puerta de antes, se oye un sonido para indicar que lo hemos hecho. Pero esto no es suficiente en aplicaciones, por ejemplo, de química. Necesitamos conocer la fuerza con la que dos moléculas se atraen o se repelen, y esto lo debemos notar a través del sentido del tacto.

En realidad, es a través de las manos, fundamentalmente, como el usuario interacciona con el mundo virtual. Casi todos los dispositivos que el usuario emplea para control del sistema, salvo los de reconocimiento de voz y dispositivos de localización, se

manejan a través de las manos. El mejor símil lo encontramos en la vida misma ya que nosotros manipulamos la mayoría de los objetos a través de las manos.

Pero la obligación de "engañar" - y otra vez nos encontramos con esta palabra - al sentido del tacto, requiere, en un mundo virtual, un cálculo importante de intersecciones en tiempo real. Muy rápidamente, de manera interactiva con el usuario, tenemos que calcular en cada momento las intersecciones de lo que sería el cuerpo virtual del usuario, en este caso la mano, para que maneje los objetos. Además, estos elementos requieren de un cálculo de intersecciones con toda la base de datos del espacio virtual que tenemos. Es decir, tenemos que calcular la intersección de ese objeto con todos los objetos incluidos en el espacio virtual y, además, en ese preciso instante.

La necesidad de cálculos es muy grande y varía, en función, de la complejidad de la base de datos o del mundo virtual que estemos generando en cada momento en concreto.

Hay que tener en cuenta, también, a la hora de programar esta simulación táctil que debemos ir computando las acciones sobre el hardware, o sea, sobre un guante de datos, por ejemplo, para que se cumpla el fin del engaño. Cada tipo de guante simula de una forma determinada, como veremos más adelante, pero sea cual fuere el modo, hay que adecuar el componente digital, nuestra acción en el mundo virtual, con la componente analógica, el que se infle un paquete neumático para simular la sensación táctil. Además, otra vez hay que tener en cuenta que dichos canales digitales/analógicos deben ser actualizados en cada momento.

La información que el sistema virtual aporta a nuestro cerebro por medio del sentido táctil se puede clasificar en dos tipos, según Del Pino (1995, 68): *realimentación táctil que nos indica el contacto con un objeto, y que nos permite averiguar determinadas características del mismo, como la rugosidad de su superficie o su temperatura, a través de los sensores que el ser humano posee en la piel* y *realimentación cinestésica que son los encargados de proporcionarnos información de carácter mecánico sobre la resistencia de los objetos.*

Los primeros sirven para aplicaciones de telerrobótica y sistemas inmersivos. Nos permiten facilitar la sensación de contacto con un objeto virtual, llegando incluso a proporcionar datos sobre la distancia al mismo pero no rugosidades "finas" de los objetos debido a que son herramientas todavía bastantes primitivas.

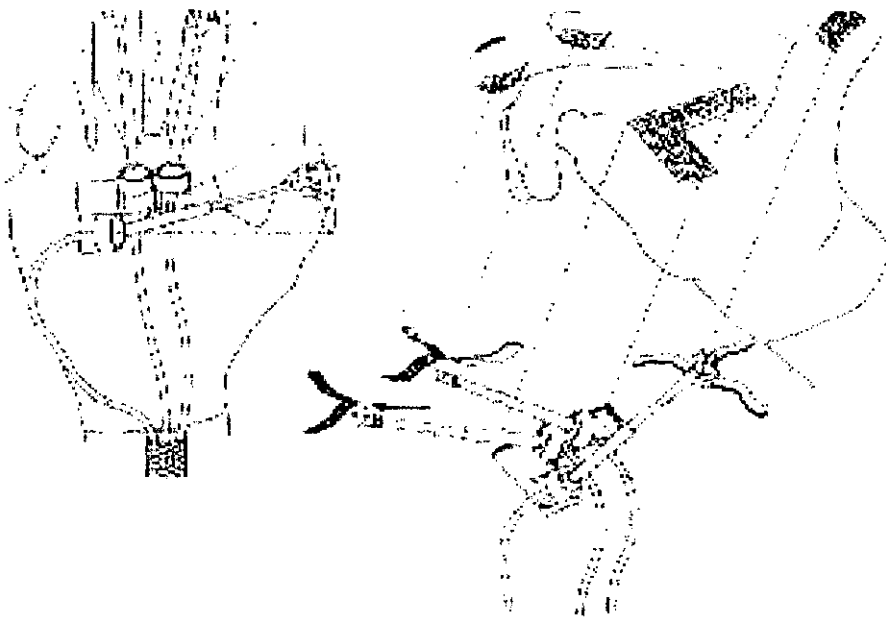
Ejemplos comerciales son el sistema TiNi Alloy, comercializado por Mondo-Tronics, que emplea botones que hacen presión sobre la piel, siendo fácil su montaje sobre electroguantes o guantes convencionales. Este método utiliza aleaciones con memoria de forma, es decir, toman la forma que se les proporcione en un momento determinado, pero cuando se calientan vuelven a su forma original. La aleación empleada por Tini Alloy es el ninitol. A una pieza de metal, llamada tactor, se le unen láminas de ninitol situados encima de una lámina semirrígida de metal que forma un ángulo de 90 grados en su extremo, al

cual se le une la otra punta del cable de la aleación con memoria. Cuando este cable es calentado por medio de una corriente eléctrica se contrae y levante el extremo donde se encuentra la doblez de 90 grados, los cuales salen por unos agujeros que están en contacto con la piel del usuario.

Los primeros prototipos contaban con un sistema de treinta tactores. Mediante combinaciones de estos tactores se pueden conseguir simulaciones de texturas.

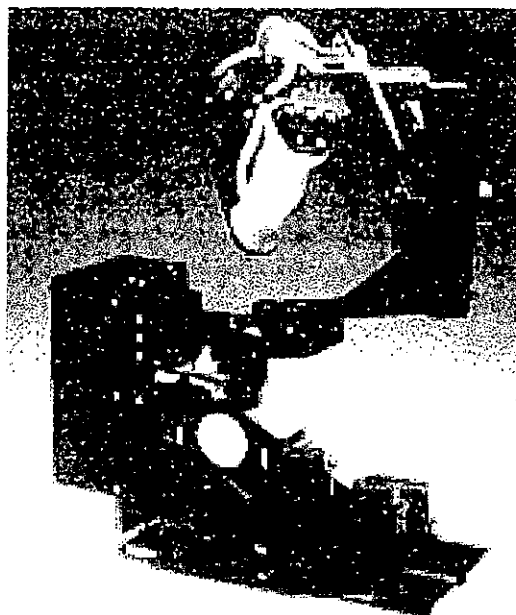
El Argonne Remote Manipulator (ARM) existía antes que se buscaran sistema de realimentación táctil para la realidad virtual. Eran empleados para la manipulación de material radioactivo ya que es un buen sistema para el control de robots a distancia. El ARM consiste en un brazo largo y articulado suspendido del techo, que proporcionaba respuestas de fuerzas elementales a la mano, muñeca, codo y espalda según los tres ejes (x, y, z). Son bastante utilizados para simulaciones en modelos de conexiones moleculares.

El sistema que inventaron para mejorar el arcaico ARM fue el Portable Dextrous Master. El ARM es un sistema que manejaba con precisión la transmisión del movimiento de los dedos al de los dedos del robot. Sin embargo, no proporciona ninguna respuesta de fuerza, por lo que el robot puede estropear perfectamente el objeto que queremos asir. El Portable Dextrous Master, si es complementado con el DataGlove de VPL, se obtiene información de fuerza de los objetos. Este sistema utiliza sensores de fuerza conectados directamente a los sensores instalados en la mano del robot. Los resultados suelen ser bastante sorprendentes.



El Portable Dextrous Mmaster

El PER-Force Handcontroller es un controlador con respuesta de fuerza y seis grados de libertad en el espacio, presentado por la empresa Cybernet Systems. Es un brazo de robot compacto, con un joystick motorizado y seis pequeños motores para proporcionar la respuesta de fuerza en todo el brazo. Está pensado para trabajar en toda clase de aplicaciones, tanto virtuales como reales, en muchos casos. En las cabinas de simulación de vuelo es muy utilizado: ayuda al piloto a mantener una trayectoria previamente planificada aplicando a la mano una fuerza equivalente a la desviación que se vaya produciendo en la nave, con lo que el piloto tendrá que hacer la fuerza contraria para mantener el rumbo.



El PER-Force Handcontroller

Airmuscle Ltd. junto a Advanced Robotics Research Center hace uso de unas pequeñas almohadillas inflables que simulan presión sobre los objetos. Este sistema se ha convertido en un producto comercial llamado Teletact.

Es un sistema compuesto por dos guantes. El primer, denominado DAG, se emplea para la adquisición de datos. Es un guante con una matriz de resistores sensibles a la fuerza (FSR), situados en la parte inferior de los dedos y de la mano. Con este guante vamos tocando objetos reales y los resistores registran diferentes patrones de fuerza, que se convierten en veinte valores eléctricos que quedan almacenados en la memoria del ordenador. Según sea el objeto - un cubo, una pelota, una escoba,...- los valores serán distintos.

Una vez almacenados, dichos valores se pueden reproducir. El segundo guante,

llamado Teletacty diseñado para trabajar dentro de un DataGlove de VPL, contiene bolsas de aire distribuidos a lo largo de la mano. Cada bolsa corresponde a un resistor del guante DAG. Al entrar en contacto con un objeto virtual, se recuperan los datos que existen sobre el mismo en la memoria del sistema. Estos datos se comparan con la presión en el interior de las bolsas. Entonces, las bolsas se inflarán o desinflarán según proceda generándose, en ese momento, una sensación táctil. Para acometer este proceso hay en cada bolsa, dos válvulas selenoides en miniatura, una para la entrada y otra para la salida de aire.



El Teletact

El Begej Glove Controller es un exoesqueleto de tres dedos que podrá llegar a proporcionar sensaciones de tacto fuerza. Cada articulación del dedo - y hay tres en cada uno - va provista de un mecanismo de fuerza que aplica resistencia para simular la del objeto.

En cuanto a simular el tacto, hay instalados cuarenta y ocho elementos de representación táctil (táxels) en la punta de los dedos, que generan señales eléctricas cuando entran en contacto con la superficie de un objeto.

Estos dispositivos, como hemos visto, intentan suplir la gran limitación de los

mundos virtuales: la resistencia de los objetos. En el mundo real, si tocamos un objeto, nuestros dedos no pueden avanzar más y en un mundo virtual esto, normalmente, no ocurre así. Los sistemas que suplen este error, denominados de "realimentación cinestésica", son muy útiles en telerrobótica, puesto que son capaces de proporcionarnos la sensación de que el robot ha chocado con una superficie siendo, por tanto, el manejo del robot más eficiente. Además, las investigaciones llevadas a cabo por Frederick Brooks de la Universidad de North Carolina, y que se citan en Aukstaitis y Blatner (1993, 142), *indican una mejora en el rendimiento que dobla al conseguido cuando sólo se utilizan visualizaciones gráficas.*

Hay que tener en cuenta que, además, estos sistemas deben tener una latencia lo menor posible, para asegurar la verosimilitud y la efectividad de las respuestas táctiles y de fuerza.

Por otro lado, la forma con que se han introducido datos a un ordenador ha variado mucho a lo largo de su desarrollo. Se han empleado interruptores, diales, cintas perforadas, teclados, lápices ópticos y ratones. La realidad virtual supone el paso de la información en dos dimensiones a la de tres dimensiones, por lo que el interface de entrada de datos tiene que cambiar necesariamente. Los ratones o joysticks están pensados para entornos bidimensionales. En mundos de tres dimensiones se necesita de otro instrumento. En la realidad interactuamos con las manos; en un mundo virtual podemos hacerlo, por ejemplo, con una simulación de lo que serían nuestras propias manos. De ahí surge el concepto del guante de datos como instrumento de aportación de datos e interacción con los objetos del mundo interactivo.

El guante de datos es, por tanto, un buen medio de transmisión de datos. Su acción se centra en un doble sentido: como control natural del sistema virtual para interaccionar con los objetos y para navegar dentro del mismo.

Todos los guantes tienen algo en común: cuando se mueve la mano, el guante recoge dicho movimiento y envía una señal eléctrica al ordenador. A un mundo virtual se le pueden dar tres tipos de órdenes: aquellas que se utilizan para indicar que nos queremos desplazar, las que sirven para interaccionar con un objeto y con las que manipulamos el estado global del sistema, introduciendo valores, por ejemplo.

El tipo de dispositivo empleado para dar cada tipo de orden depende de la aplicación que estemos ejecutando. En simulaciones, lo mejor es usar las herramientas propias de la aplicación: un volante en el caso de un coche virtual, un manillar de bicicleta con unos frenos si de esta aplicación se trata, etc.

Cada dispositivo suele ser asignado a un tipo de orden concreta, aunque los electroguantes, por poner un ejemplo, determinan la navegación - al señalar con el dedo la dirección escogida - y la interacción - al poder agarrar objetos con ellos-.

Los teclados, ratones y joysticks convencionales son, todavía, los dispositivos empleados en la introducción de valores, numéricos y semánticos, con el objeto de

controlar el sistema virtual.

No obstante, son los electroguantes el dispositivo más típico, junto al casco estereoscópico, de entrada y salida de datos al sistema virtual. Son empleados en la detección de la posición de la mano del usuario; se mide la posición relativa de los dedos, detectando el grado de flexión de cada uno y la separación existente entre dedos consecutivos.

La acción de mover la mano es algo totalmente habitual. Con ello, suministramos datos a nuestro cerebro para la posterior comprensión del objeto mismo. La creación de una mano virtual en nuestra aplicación nos ayudará mucho, por tanto, a crearnos la ilusión de realidad y facilitar la interacción.

Una de las aplicaciones más importantes de la realidad virtual es la telerrobótica. En este caso la mano virtual no aparece en la pantalla, sino que se establecen unas correspondencias entre la posición de los dedos y la acción del robot. El usuario necesita, por tanto, del aprendizaje de una serie de códigos para que las operaciones sean totalmente correctas.

El electroguante, no obstante, siempre necesitará de códigos puesto que si lo utilizamos para indicar una dirección o el objeto que queremos agarrar habrá que establecer interrelaciones, a nivel de software, entre el gesto de la mano y la acción a realizar.

De todos modos, ninguna de estas tres acciones va sola en un guante de datos, sino que deben ir juntas para sacar el máximo partido al mismo puesto que, por ejemplo, para indicar dirección exclusivamente es mucho más rentable usar un ratón o un joystick.

Hoy en día hay dos tipos de tecnologías utilizadas para la construcción de electroguantes: las que se basan en sensores de fibra óptica flexibles y las que se basan en segmentos articulados que forman un exoesqueleto.

La empresa VPL inventó el primer sistema con su DataGlove o guante de datos. Sobre un guante de nylon incorporan unas fibras ópticas que se flexionan al abrir o cerrar los dedos. La luz que pasa a través de las fibras se atenúa cuando ésta se dobla, por lo que comparándola con la cantidad de luz total que puede llegar a pasar se puede medir el grado de flexión. Esta información se traduce a impulso eléctrico para la comprensión del ordenador. Miden hasta diez parámetros distintos de flexión con una frecuencia de muestreo de 160Hz.

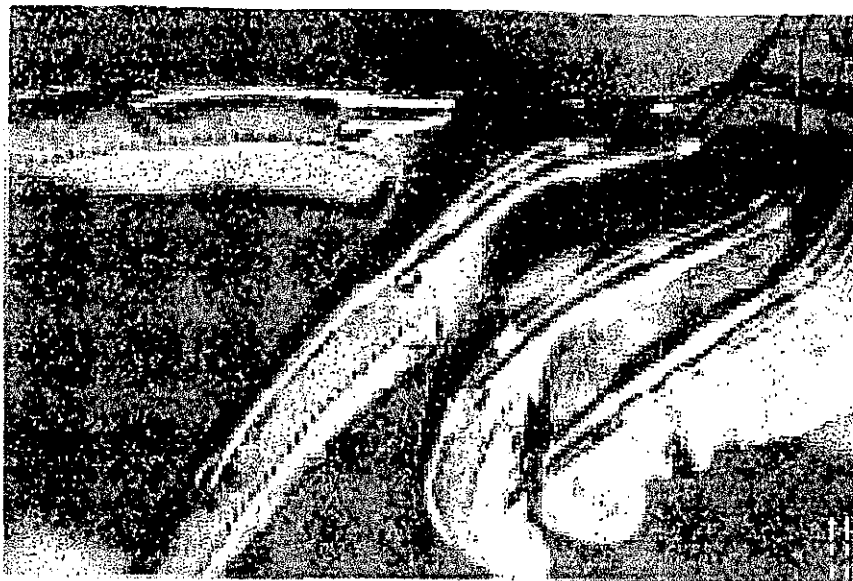
Disponen, además, de un sensor Polhemus para medir la posición y orientación de la mano. Combinando los dos elementos de medición, el ordenador puede seguir cualquier movimiento de la mano. Es esencial que el tiempo de latencia de estos procesos sea mínimo, dado que será una constante que afectará a la rapidez de respuesta del sistema en su conjunto. Javier Castelar distingue entre dos tipos de sensores: los absolutos y los relativos.

Los absolutos, como el Polhemus, nos dan la posición respecto a una referencia

real, tal como una fuente electromagnética, etc. Proporcionan muchos datos y su principal característica es que calculan la posición del sensor en tiempo real dando 6 grados de libertad en relación a un origen:

- posición en milímetros o pulgadas
 - x, y, z
- ángulos que nos dan la posición en 3D (en milímetros o pulgadas) respecto a un origen, a la vez que se calcula la orientación
 - a, b, c

Con esto ya somos capaces de saber la posición de la mano y, de la cabeza de un usuario, en el caso de un casco estereoscópico ya que estos sensores se utilizan en ambos dispositivos.



El Data Glove de VPL

Un valor importante en la calidad de estos sensores es su poder de inmunidad ante el ruido. Hay sistemas que por el método de funcionamiento utilizan cierta transmisión electromagnética que es aceptada por los periféricos, provocando que el sistema se encuentre todo el tiempo virando y cambiando de posición. Esto se ha solucionado en algunos sensores, pero sin bastante más caros.

Los relativos se emplean, principalmente, en guantes, aunque no es el caso del Dataglove, que combina ambos tipos de sensores. El Polhemus, sensor absoluto, se coloca en la muñeca y combinado a estos sensores relativos en los dedos, nos dan la posición/orientación de la mano de un modo más preciso.

Los relativos ya han sido explicados con la definición técnica del proceso de medición de un DataGlove.

Los problemas con que nos encontramos son, por un lado, el que sólo nos aporta un grado de libertad, es decir, calcula los ángulos acaecidos en un dedo o en una articulación determinada. Es necesario el uso de muchos de estos sensores para conseguir el posicionamiento de todos los dedos o de todo el cuerpo. Y por otro lado, el que es muy delicado, ya que las fibras y sensores se rompen con facilidad.

La gran ventaja es que son cómodos de utilizar, puesto que se ponen fácilmente y su modo de empleo es bastante sencillo.

El primer paso en su utilización es el calibrar el guante para cada mano. Los gestos son totalmente distintos según la persona, ya que no hay dos manos iguales tanto en tamaño como en modo de moverse. Hay que enseñar al ordenador la amplitud de los gestos y la forma de tu mano en particular.

El segundo paso es el aprendizaje del lenguaje que usa el guante ya que, cuando tienes puesto el guante, no puedes teclear. Esto es un problema y para solucionarlo se usan "gestos comando" que significan cosas. En un mundo virtual no tiene porque haber leyes: puedes, por ejemplo, volar y ese vuelo sería posible gracias a una determinada posición de los dedos. Para desplazarte en una dirección tan sólo tienes que señalar con el índice. Para ir hacia atrás hace falta mover dos dedos. Si cierras el puño, en algunos casos, te trasladas a otro espacio. El hecho es que la complicación es mínima y los resultados son bastantes adecuados a las investigaciones hechas hasta el momento.

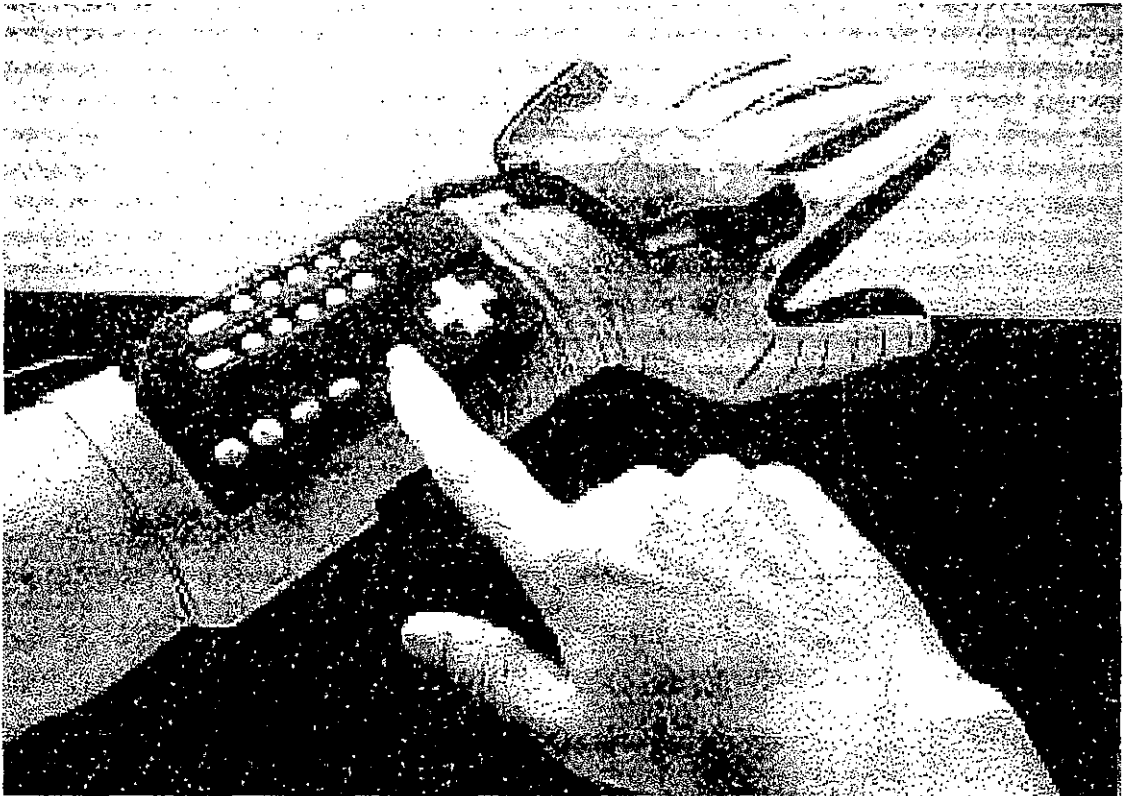
Otro guante de este tipo, es decir, basados en fibras ópticas, es el Cyberglove de la empresa Virtual Technologies. Mide 22 parámetros distintos de flexión de dedos con una frecuencia de muestreo de 100Hz. Es más barato que el anterior por lo que ha sido más comercializado.

El PowerGlove, de Mattel, es otro modelo de guante económico. Hay que tener en cuenta que el DataGlove centra su calidad en la precisión de las mediciones y, para ello, necesita que todos sus componentes lo sean, por el que el producto final se encarece. Fue desarrollado por VPL Y Abrams-Gentile Entertainment y si bien, al principio, se vendía para controlar juegos de Nintendo, posteriormente se empleó en aplicaciones de realidad virtual. Hoy en día, ya no está siendo comercializado.

Es más robusto y muchísimo más económico. Para conseguir esto se han utilizado sensores mucho menos sofisticados. Cada dedo del guante es recubierto por una pintura eléctricamente conductiva. Si se mantienen los dedos estirados, la señal eléctrica es estable, pero si se flexionan se produce un cambio en la resistencia eléctrica, lo que genera una señal que el ordenador puede interpretar. Esta técnica no proporciona mediciones precisas, lo que supone un handicap en aplicaciones de alto nivel.

Para saber la posición de la mano hay dos transmisores ultrasónicos a ambos lados

del guante que envían señales a receptores situados en el monitor, los cuales los traducen a posiciones en el espacio. Pero para que funcionen, los transmisores siempre deben estar delante de los receptores, lo que imposibilita coger un objeto que quede detrás del usuario.



El PowerGlove, de Mattel

La segunda forma es a través de una estructura de segmentos articulados que se fija a la mano como una especie de exoesqueleto. Este sistema fue inventado por Beth Marcus, de la empresa Exos, y lo llamó Dexterous Hand Master. Son guantes de una precisión exquisita pero más complicados de utilizar. Utiliza uniones mecánicas para poder seguir completamente cualquier movimiento de los dedos. Se fija a los dedos por cintas de velcro y, en cada articulación, hay un dispositivo denominado sensor de efecto Hall. Este sensor es un semiconductor que cambia el nivel de su voltaje de salida en forma proporcional al campo magnético inducido por un brazo situado en el lado opuesto de la articulación. Así se pueden medir todos los ángulos posibles, incluso giros laterales, en los movimientos de cada una de las tres articulaciones de los dedos. Los datos que se proporcionan al ordenador son de una precisión casi absoluta.



El Dexterous Hand Master

Un caso curioso de guante es el Talking Glove diseñado por James Kramer y Larry Leifer. Su función, en un principio, era como ayuda a sordos y sordomudos, pero se ha empleado en multitud de aplicaciones en realidad virtual. Lo que utilizaron para medir las flexiones de los dedos fueron unas galgas de tensión extremadamente finas. Se pueden llegar a colocar hasta veintisiete sensores, tal como nos recuerdan Aukstakalnis y Blatner (1993, 152): *tres sensores de flexión y uno de abducción para cada dedo y para el pulgar, más siete para medir la torsión vertical y horizontal en la muñeca*. En la muñeca lleva una pequeña unidad electrónica que recoge la información y la convierte en señales eléctricas que se transforman en sonidos en un pequeño sintetizador de voz. El sordomudo utiliza su lenguaje para comunicarse y el receptor responde en un pequeño teclado con pantalla.

James Kramer ha perfeccionado este sistema en otro guante llamado CyberGlove, pero con casi idénticas características.

Si queremos elegir un guante ideal, no lo hay. La aplicación que se vaya a

desarrollar es la que exigirá la elección de un determinado guante. Habrá aplicaciones que no necesiten de guantes pero, en otras, será necesario saber la posición de la cabeza, las manos y los dedos e, incluso, de todo el cuerpo.

7.3. EL TRAJE DE DATOS (DATA SUIT)

La necesidad de inmersión en los mundos virtuales nos obligaría a sumergirnos totalmente en ellos. Hasta ahora hemos engañado al sentido de la visión y al del tacto, pero sólo en lo que se refiere a la estimulación que nos llega a través de las manos, y esto no debería ser suficiente. Si queremos llegar a sumergir al cibernauta en un ciberespacio, tenemos que hacerlo por completo. Una sólo mano no es representación de una persona.

La piel, que es el medio por el que nuestro cerebro recoge la información para estimular el sentido del tacto, nos recubre por completo. Hay sensaciones que nos llegan a través de otros medios que no son las manos, y esto debe ser integrado, también, en el medio virtual.

El ordenador debe ser capaz de reconocer la posición de nuestro cuerpo entero, incluido si reímos o nos ponemos serios, o la forma de andar por nuestro entorno, ya sea virtual como real.

Para ello, se han creado los trajes de datos o DataSuits por parte de la empresa VPL. Son trajes hechos a imagen y semejanza del guante de datos, es decir, detección de las flexiones a través de fibra óptica, lo único que la cantidad de cables utilizado se incrementa en gran número, puesto que se miden hasta cincuenta articulaciones del cuerpo humano, como rodillas, brazos, torso y pies. Los seguidores de posicionamiento son, también, Polhemus y hay uno en cada mano otro sobre la cabeza y otro en la espalda.

Su desarrollo, por tanto, se encuentra en estado primario. Como hemos dicho, tan sólo incorpora sensores de posición, es decir, no hay traje táctil o efector, con el que podamos recibir estímulos por parte del ordenador.

No obstante, todavía son trajes experimentales y no hay ninguno comercializado en el mercado. Las razones son su incomodidad de uso y su compleja calibración.

Pero, como a todo lo que aparece nuevo en la realidad virtual, ya se le ha encontrado una aplicación. Unos productores de Hollywood querían que, en una película de animación generada por ordenador, sus personajes se movieran como si fueran seres humanos. Para conseguir esto, una persona se introdujo en un DataSuit y empezó a moverse, registrando, de este modo, todos los datos sobre movimiento del cuerpo humano, en el ordenador.

El DataSuit puede aportar mucho a aplicaciones complejas de telerrobótica. Se pueden utilizar distintas partes del cuerpo humano para controlar distintas partes del entorno del robot. Por ejemplo, un pie puede controlar la iluminación del robot sobre la

escena y el movimiento del otro pie, puede suponer que el robot avance. Esto, que puede parecer bastante complicado, no lo es tanto, puesto que el ser humano tiene una gran coordinación sobre todo su cuerpo.



Data Suit

Otro tipo distinto de traje de datos es el Waldo, diseñado por Rick Lazzarini y su empresa, CharacterShop, de Van Nuys, California. Es un sistema muy avanzado de seguimiento de movimientos del cuerpo humano. Se construyen en función de las necesidades del cliente. Si se quiere uno de reconocimiento facial para videojuegos o para que un niño tenga una conversación totalmente real, con un personaje de ficción, se crea uno en el cual se emplean muchos tipos de sensores para controlar el movimiento de los

diversos músculos de la cara y la mandíbula. Dicha información es procesada por el ordenador y se emplea como instrucciones gestuales del personaje ficticio con el que habla el niño. Esta aplicación es muy utilizada en hospitales infantiles para ayudar a pasar, lo mejor posible su estancia en ellos.



Waldo

Myron Krueger, uno de los padres de la realidad virtual, ha trabajado en un sistema de reconocimiento corporal basado en la extracción de imágenes durante muchos años. Todavía no es un producto viable, pero se está investigando bastante en ello, ya que no haría falta acoplarte ningún incómodo traje. Podrías sumergir tu cuerpo en un entorno virtual y controlar totalmente el ordenador, sin ningún tipo de sensor colocado a lo largo de tu cuerpo.

Consiste en la utilización de cámaras de vídeo para localizar e identificar los movimientos corporales. Tres cámaras de vídeo enfocando al usuario desde ángulos diferentes. De este modo se crearía un modelo tridimensional del sujeto, puesto que al ordenador le llegaría información de vídeo desde tres puntos del espacio distintos.

La principal aplicación sería la de la teleconferencia, pero este tema ya lo abordaremos más adelante de un modo más extenso.

Capítulo 8.

SINTESIS DE IMAGEN 3D Y PARADIGMAS DE VISUALIZACIÓN

8.1. SINTESIS DE LA IMAGEN

En un sistema de realidad virtual continuamente se están generando gráficos en 3D para definir mundos tridimensionales. Son estas imágenes las que va a visualizar el usuario.

Las principales limitaciones con las que nos encontramos para generar mundos virtuales son consecuencia de tres factores principales:

- Alta interactividad
- Incremento en la calidad de visualización
- Aproximación al modelo de visión humana

La necesidad de asemejar nuestros gráficos a las necesidades impuestas por el modelo de visión humana, ha requerido de estudios matemáticos sobre el asunto. Las limitaciones que se han obtenido de estas investigaciones sobre modelos matemáticos de visión estereoscópica humana se pueden resumir en tres puntos.

El modelo de una única proyección de perspectiva por cada uno de los ojos no es completamente exacto.

El postproceso del cerebro y otros factores provocan un modelo no lineal de estereoscopia. Sobre este punto hemos incidido en el estudio de la fisiología visual y con las conclusiones y modelos creados a partir de nuestras investigaciones se puede llegar a resolver este problema.

La aproximación al modelo no lineal obliga a la perspectiva y a cálculos para hallar el valor de cada pixel, ojo por ojo, lo cual es técnicamente inviable.

Las características de la imagen son determinadas por dos factores: la complejidad de los algoritmos que sintetizan la imagen y la complejidad del paradigma de visualización. Debe haber, por tanto, un equilibrio entre ambos puntos. Tanto si generamos unos gráficos de una complejidad extrema cuyo dispositivo de salida es pobre, como si contamos con un paradigma excelente pero nuestros gráficos son pobres en resolución, nuestro mundo virtual adolecerá de algo fundamental: el realismo. Normalmente, es el tipo de aplicación a desarrollar lo que va a condicionar la calidad tanto de uno como de otro factor.

En el fondo, se trata de acoplar en una simbiosis perfecta el hardware y el software

utilizados para generar un mundo virtual. Nos encontramos ante lo que se puede llamar el cuerpo y alma de la informática.

Vamos a empezar por el software, es decir, que es lo que hace falta para escribir un programa que asegure la posibilidad de engañar a la vista generando gráficos altamente realistas.

El primer problema ya ha sido enunciado. Hay que generar imágenes sintéticas en 3D, es decir, no estamos tratando con imagen real. Al no existir es necesario un cálculo preciso de todos los puntos requeridos para ser dibujados en la pantalla del ordenador, con la que obtengamos una señal de vídeo que nos proporcione una imagen más o menos realista, la cual debe ser en 3D y gozar de una cierta perspectiva para que funcione.

La calidad de la imagen digital ha evolucionado enormemente en los últimos tiempos, llegando a conseguir imágenes con un alto grado de realidad. No obstante, no se ha llegado todavía a la calidad de la imagen química por un simple factor de "cuantización". En una imagen digital no existen la totalidad de colores que existen en la naturaleza, sino que se construyen a partir de la combinación de tres colores primarios: el rojo, verde y el azul. La base de esta reducción en el tratamiento de información se basa en el hecho de que el cerebro interpreta como un color único la reunión de muchos puntos con frecuencias de luminosidad, tono y saturación similares. Por tanto, a partir de combinar tres colores se pueden crear todos los demás, pero no todos los que existen en la naturaleza, por lo que una imagen generada digitalmente no podrá llegar nunca al grado de realismo que existe en la realidad.

A pesar de todo, en la síntesis de la imagen tridimensional debemos tener presente elementos como la resolución, el número de colores, la complejidad de la escena, el peso visual, tipo y disposición de las diversas pantallas, la *velocidad de refresco* de la escena, el *tiempo de latencia*, la óptica con la que se está contemplando la escena y los problemas que se le pueda presentar al usuario en su navegar por el mundo tales como la náusea, ya que el sentido del equilibrio se pierde al estar mucho tiempo navegando, puesto que el cuerpo no sufre ningún tipo de aceleraciones, aspecto determinante en un espacio real para que las personas se puedan mantener en pie.

La velocidad de refresco es el número de imágenes en 3D lo mayor realistas posibles que debe generar el ordenador por segundo. Esta velocidad de generación de imágenes puede ser *síncrona* o *asíncrona*. En la primera, se fija de antemano la tasa de generación de imágenes, y la carga del sistema se calcula para que dicha tasa se alcance. Hasta que una imagen no ha sido generada no se carga en la pantalla, pero la diferencia de tiempo entre la creación de una imagen y la siguiente, es siempre la misma ya que si lo que tarda son 100mseg en crear una imagen, esperará esa cantidad de tiempo para presentar la imagen en el monitor del sistema. En caso de que el trabajo se incrementara y no se pudieran cumplir los cálculos, existe la *técnica de gestión del nivel de detalle*, que

trataremos más adelante en este mismo capítulo.

En cuanto a los sistemas asíncronos, se calcula la nueva imagen e, inmediatamente, se presenta en la pantalla y empieza a generar la siguiente. Se evitan tiempos muertos y temporizaciones estrictas que el sistema debe cumplir. Sin embargo, el tiempo que pasa entre que se presenta una imagen y la siguiente varía continuamente, lo que provoca efectos ópticos indeseados, no existe forma de sincronizar las animaciones con el movimiento y, en aplicaciones de simulación, pueden originar reflejos condicionados falsos. Un ejemplo sería cuando estamos acercándonos a un lugar en el que hay mucho nivel de detalle. Parece como si no llegáramos nunca aunque sepamos que el destino está cerca. Esto es debido a que como tiene que generar más datos en la imagen, el trabajo del ordenador se ralentiza.

El tiempo de latencia es el intervalo de tiempo existente entre que el usuario da una orden - mueve la cabeza para mirar a otro lado, agarra un objeto del espacio artificial,...- y el sistema actualiza la información que proporciona al usuario. Debe ser el menor posible ya que, de otro modo, el realismo de las imágenes se perdería por la falta de interactividad con ese mundo artificial en el que estamos actuando y, además, puede provocar mareos en el usuario. Como ejemplo orientativo, la latencia máxima permitida en los simuladores de vuelo comerciales es de 150mseg. Imaginemos que nuestro simulador de vuelo posee una latencia muy alta y queremos girar a la izquierda. Empezamos a mover el control hacia ese lado pero al ver que el sistema no responde seguimos moviendo el control, con lo que provocaremos un sobredesplazamiento hacia la izquierda. Al ver esto, trataremos de corregirlo del mismo modo hacia la derecha, con lo que se producirá una fuerte oscilación en el aparato. En un simulador de vuelo esto puede llegar a permitirse, pero en una aplicación para medicina quirúrgica esta latencia es impensable. Por encima de los 100mseg la sensación de realidad en la mayoría de los sistemas se pierde por completo.

La sensación de mareo es algo a evitar en todo sistema de realidad virtual. El fenómeno se produce porque el hombre percibe los movimientos del cuerpo a través de los canales semicirculares ubicados en el oído interno. Cuando estos movimientos percibidos no se corresponden con lo que ven nuestros ojos, aparece el mareo. En paradigmas como los monitores se produce este hecho cuando la imagen se mueve y nuestro cuerpo está quieto. Es lo mismo que ocurre con algunos videojuegos en los que te mueves por el espacio de un modo muy rápido. En el casco estereoscópico, el mareo se da cuando efectuamos un cierto movimiento y la imagen tarda en responder. Aquí el usuario no tiene la posibilidad, como en el caso anterior, de apartar la vista ya que la imagen del casco es la totalidad de su campo visual, por lo que la única solución sería el reducir la latencia del sistema. La reducción de la latencia es uno de los principales problemas a resolver cuando se diseña un sistema de realidad virtual, tanto a nivel de hardware como de software.

El diseño de un sistema de realidad virtual debe ser un compromiso entre la velocidad de refresco, la calidad de la imagen y la latencia. El escoger un factor en

detrimiento de otro dependerá del tipo de aplicación a desarrollar. Cuánto más objetos haya en la escena y con una mayor calidad de representación, menor será la tasa de refresco de la escena. Si queremos que estos dos factores se den a la vez, habrá que aumentar la potencia gráfica del ordenador pero la latencia se verá aumentada considerablemente. Actualmente no hay estándares que lo compaginen por lo que será el diseñador del entorno virtual el que determine a lo que va a renunciar en su espacio virtual.

La imagen, a pesar del sistema elegido, debe ser tridimensional o, lo que es igual, estereoscópica. En el ámbito de software, este hecho requiere que tengamos que generar siempre dos imágenes por cada fotograma, es decir, una imagen por ojo. Lo que implica doble de dinero, doble trabajo, doble tiempo,..., y, sobre todo, conlleva problemas a nivel de programación ya que es necesario que generes una imagen en la mitad del tiempo del que dispones para crearla.

En los sistemas de realidad virtual la principal característica es el tiempo real, por lo que dichas imágenes tridimensionales deben ser generados, por supuesto, en tiempo real. Si el usuario está moviendo la cabeza, debo crear una imagen para cada momento del movimiento, pues es el único modo en que el usuario crea que también está moviendo la cabeza en el mundo virtual.

Pongamos un ejemplo. Nos encontramos en un mundo virtual que simula un estadio de fútbol. Empiezo a mirar hacia abajo y lo que voy descubriendo es césped virtual. Si mirara al frente tendría que ver a más jugadores o, quizás, al árbitro. Si empiezo a mirar hacia arriba lo que vería serían los espectadores. Esto es tal y como lo veríamos en el mundo real y así debe ser en un mundo virtual. Hay que generar en la forma, manera y tiempo adecuado, todos los objetos, o el número mayor posible de ellos, de que constan los diferentes espacios virtuales. Además, para conseguir la sensación de tridimensionalidad de los diferentes objetos que componen la escena debo mostrar una imagen por ojo que han de ser ligeramente diferentes para que sea el cerebro quien los componga en una sola imagen en tres dimensiones.

Todo este proceso debe hacerse en tiempo real, lo cual supone una enorme gestión de datos por parte de la computadora.

La frecuencia a la que debe generar las imágenes el ordenador, debe estar en concordancia con los aspectos fisiológicos del ojo. Hay que generar un número de imágenes suficientes para engañar al ojo y pueda asimilar el paso de una a otra como un movimiento real y fluido. Como vimos en el apartado del estudio del ojo, a partir de 14 imágenes por segundo, el cerebro interpreta como movimiento aquello que el ojo está viendo. Pero, la sensación que se consigue no es de mucho realismo.

La sensación de realismo empieza con un mínimo de 20 fotogramas estéreo/segundo, es decir, 20 fotogramas por cada ojo en un segundo. Con esta cantidad se empieza a conseguir un nivel adecuado de realismo, ya que se llega a una cierta continuidad

en los movimientos.

Sabemos que el cine va a 24 fotogramas/segundo y la televisión a 25; entonces, ¿porqué necesitamos un número mayor en los sistemas de realidad virtual? No se ha podido constatar con seguridad, pero la experiencia ha dictado que esto es así. Es lógico pensar que si queremos crear un mundo en el que nos encontremos totalmente adaptados para poder interactuar con él, hay que generar un movimiento dentro del mismo lo más rápido y fluido posible. Esto supone trabajar a un mayor número de fotogramas, siendo 60 fotogramas estéreo/segundo la cantidad óptima de fotogramas para crear una realidad. Cuanto mayor es el número más realidad existe en nuestro entorno virtual. El problema es que ese número hay que generarlo en tiempo real y con una adecuada calidad en los gráficos para dotar de realismo a la escena.

El llegar a velocidades de 30 a 60 fotogramas/segundo provoca un incremento de tiempos de transporte o, lo que es igual, más latencia. El tiempo de transporte a 30 fot/seg es de 10ms y el tiempo de transporte a 60 fot/seg es de 50ms. Además, necesita de un control realimentado de sobrecarga del sistema gráfico y obliga a la gestión en tiempo real del nivel de detalle de los objetos, lo que significa que cuanto más lejos esté el objeto, menor resolución es necesario que le proporcione, ya que como nos enseñó la perspectiva en la pintura del Renacimiento, en la representación de los objetos lejanos una mancha puede indicar claramente al cerebro el objeto del que se trata. Este incremento en el número de fotogramas por segundo obliga a estructuras multiprocesador que, según trataremos más adelante, son arquitecturas pipelines, arquitecturas paralelas y arquitecturas combinadas.

De todas formas hay nuevas técnicas de reducción del tiempo de transporte como son el granularizar el recorte y el dibujado.

Siguiendo estas técnicas y manteniendo un elevado número de frames se puede llegar o obtener resultados de baja latencia, tales como que el tiempo de transporte a 30 fotogramas/segundo sea de 6ms y el de 60 fotogramas/segundo sea de 32ms.

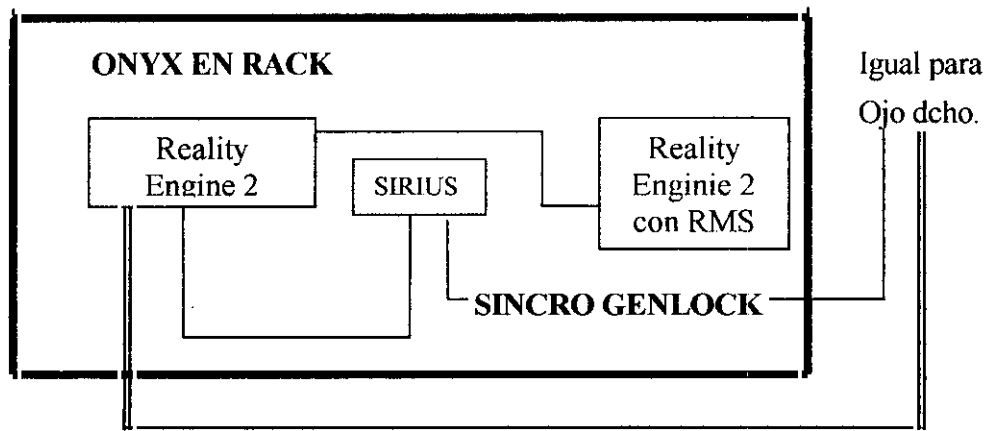
A cambio, seguimos obligados a la gestión en tiempo real de un nivel detalle de objetos, es decir, cuanto más lejos esté el objeto el ordenador lo pinta con una menor resolución. Como hemos visto, esta técnica no es nueva, sino que proviene de las leyes de la perspectiva creadas en el Renacimiento y confirmadas, posteriormente, por los estudios de fisiología visual.

Con esto se produce un incremento en la calidad de visualización gracias a un mayor poder geométrico y de texturación. Este proceso es la base de máquinas como el Reality Engine 2. En ella se mezclan los niveles de detalle y antialias 3D a toda pantalla en un proceso llamado *multimuestreo 3D*, que lo que realmente hace es pasar de un nivel de detalle a otro nivel mediante una mezcla entre ambos.

La Reality Engine 2 también utiliza *CPUs TFP* para la reducción por limitación de llenado, es decir, lo que permite es la oclusión de objetos visibles en tiempo real.

La corrección de toda aberración óptica que se produzca en la generación de imágenes se hace mediante una ONYX Multipipeline con un proceso de texturación de vídeo SIRIUS.

En el siguiente gráfico tenemos representado el esquema de funcionamiento en conjunto:



Este ejemplo es una sólo muestra de funcionamiento real de una máquina para hacer realidad virtual, compaginando las virtudes de varias máquinas de modo que el resultado final sea lo más adecuado posible a las exigencias del usuario.

Además de la plataforma elegida con su determinado software, todo sistema incorpora una serie de drivers o librerías para el control de los dispositivos de entrada/salida que se utilicen. Los drivers, librerías y sistema operativo tienen como misión el liberar de trabajo al hardware así como implementar la generación de gráficos, de sonido 3D, la localización, etc. Estos algoritmos suelen estar optimizados por el hardware utilizado.

El diagrama que resulta de todo este conglomerado de factores sería el siguiente, tal como nos propone Del Pino (1995, 72):



Los drivers y las librerías pueden ser utilizados o no dependiendo de la aplicación que estemos desarrollando. Puede darse el caso de que las librerías comerciales existentes no suplan nuestras necesidades o no sean capaces de proporcionar las funciones requeridas. En este caso, el programador debe hacer él mismo todo el proceso de síntesis de la imagen, para lo cual existen dos interfaces gráficas estándar:

- *GKS-3D (Graphical Kernel System-3D)*, estándar ISO-8805.

Este estándar es independiente del sistema operativo empleado, del lenguaje de desarrollo y de la plataforma utilizada. No obstante, las facilidades que ofrece para la estructuración de las escenas no son muy adecuadas.

- *PHIGS+ (Programareis Hierrarchical Interactive Graphics System)*, estándar ISO-9592. Es igual de independiente que la anterior pero ofrece más facilidades para la estructuración de las escenas. Se usa principalmente en estaciones de gama alta, que trabajan en sistema operativo Unix.

El problema que nos encontramos con estas dos interfaces es que hay que optimizarlas de acuerdo con el hardware empleado. El proceso de síntesis de imágenes es un elemento crítico de los sistemas gráficos, y depende cada aplicación concreta y de las cualidades del hardware empleado.

Por este motivo, ninguno de los dos estándares tienen una gran aceptación y los fabricantes suelen proporcionar librerías gráficas de bajo nivel, las cuales proporcionan un control más exhaustivo del proceso de síntesis. Con estas librerías se consigue dar servicios de alto nivel, que van en concordancia con cualquier tipo de aplicación.

Silicon Graphics proporcionan su librería Iris GL para grandes estaciones de trabajo, y la Open GL para PCs y estaciones de trabajo basados en sistemas de ventanas. La empresa Sun proporciona la XGL y HP la Starbase. Cada fabricante, no obstante, crea sus propios drivers o se adapta a las condiciones de los entornos de ejecución más populares, como el WorldToolkit o SuperScape.

El paso adelante para programar un mundo virtual es la necesidad de un entorno de ejecución, en el que se complementen todos los mecanismos básicos de manejo de objetos. El entorno de ejecución soportará funciones como la creación directa de los objetos y espacio que compondrán nuestro mundo virtual, el desplazamiento, rotación o cambio de escala de un objeto, la detección de colisiones, la creación y sincronización de imagen y audio, el manejo de las fuentes de luz, los movimientos de las cámaras y, finalmente, la entrada y salida de datos.

También soporta otras funciones más complejas como la conmutación del nivel de detalle, o el control de complejidad mediante una variación dinámica de los algoritmos de síntesis.

Además el entorno controla todos los drivers a no ser aquellos que utilicen

periféricos que el entorno no acepte. El programador debe, tan sólo, crear la simulación e, incluso, goza de facilidades como el que hay programas que leyes físicas, como la gravedad y la inercia, las tienen determinadas como propias del comportamiento de los objetos.

Finalmente, el entorno de ejecución será diferente según el tipo de plataforma que estemos utilizando. En definitiva, la concordancia entre la aplicación a desarrollar y los equipos de los que dispongamos, debe ser prioridad absoluta a la hora de implementar mundos virtuales.

La estación de proceso (hardware) es el soporte de la realidad virtual. El control de todos los elementos que intervienen en el proceso y el realizar los cálculos necesarios para gestionar el mundo virtual, son sus principales tareas. Hay, no obstante, una serie de funciones principales que ejecuta.

La simulación es la primera de ellas. La estación de trabajo guarda en su memoria la situación del mundo virtual y el comportamiento de todos los objetos que lo componen. Además, modifica los valores de cada uno de ellos en función de las diversas acciones que el usuario ejecuta sobre el espacio. El control de estos datos de entrada también lo realiza la estación de trabajo. Por último, la estación debe entregar al usuario la información que haya pedido sobre el mundo virtual para que tome sus propias decisiones al respecto. Es, por tanto, un control sobre los datos de salida cuya principal manifestación es la síntesis de imágenes.

Necesitamos concretar un poco más en la tarea de simulación. Es la parte del proceso encargado en crear y gestionar la vida del mundo ilusorio en el que nos encontramos. Cada objeto componente del mundo tendrá su propia personalidad y reaccionará de modo distinto a los diferentes eventos. La síntesis de identidad de cada objeto se define por el lenguaje de programación, por el sistema de desarrollo empleado y por las claves que haya querido dar el programador a cada objeto. El tipo de comportamiento de cada objeto es una combinación entre el estado interno del objeto, el estado del mundo virtual y las órdenes del usuario.

L. M. Del Pino González clasifica las acciones que puede realizar un objeto atendiendo a las reglas del comportamiento en *acciones internas*, *acciones observables*, *acciones dependientes del contexto* y *acciones externas*.

Las primeras son cambios en los valores no observables del objeto; las segundas son cambios visuales o sonoros en los atributos del objeto. En estas últimos, además de producirse modificación en los valores del objeto, es cuando se produce las llamadas a las librerías. Estas llamadas pueden ser directas, es decir, la llamada es parte del comportamiento, o, indirecta si se modifica una sólo variable para posteriormente sintetizar toda la escena.

Las acciones dependientes del contexto se producen en los atributos del objeto en los que hay posibilidad de interaccionar con otros objetos. Un ejemplo sería el que un

objeto colisionara con otro. Las acciones externas se dan cuando un objeto interactúa sobre otros.

Estos dos últimos tipos de acciones están sujetos a factores externos. Imaginemos que nosotros, como usuarios, movemos un objeto dentro del espacio virtual. Al llegar a la nueva posición puede darse el caso de que esté ocupada por otro objeto, con lo que habría que aplicar el principio de solapamiento ya que, al igual que en el mundo real, el principio de impenetrabilidad entre objetos es inviolable. Las diversas aplicaciones de realidad virtual deben gestionar adecuadamente las interacciones entre objetos.

Estamos comprobando que uno de los comportamientos más importantes es la *animación* de los objetos, ya que es la manera en la que van cambiando los objetos de la escena en cada instante de tiempo.

Pero en las aplicaciones hay objetos que se mueven y otros que no.

Los objetos inanimados son aquellos cuyos parámetros visuales permanecen constantes a lo largo de la aplicación. Hay objetos que nunca se van a mover como, por ejemplo, los bancos de un parque; no obstante, puede darse el caso de que un objeto que, en principio, no tiene porqué moverse, luego lo haga mientras que el usuario está interactuando en la aplicación. La mesa de una oficina debe estar en el mismo sitio siempre, pero el usuario puede tener el gusto de empujarla a otro sitio. En todos estos casos, los objetos se consideran inanimados.

Los objetos animados de la aplicación suelen ser aquellos con los que el usuario debe interactuar continuamente o aquellos que mejoran la estética y el realismo de la aplicación como, por ejemplo, las hojas de un árbol que se mueven si pasamos cerca de ellas con nuestro avión. Son, por tanto, objetos cuyos parámetros visuales no permanecen constantes.

Se debe, por tanto, determinar por parte del sistema cuál es la definición gráfica de cada objeto en todo momento. Si los objetos están definidos por medio de ecuaciones matemáticas, los cambios son un conjunto de operaciones. Lo normal es que los objetos, al trabajar en tiempo real, estén definidos por medio de polígonos y los cambios se producirían por medio de un diagrama de animación, el cual estaría constituido por una o varias secuencias de animación.

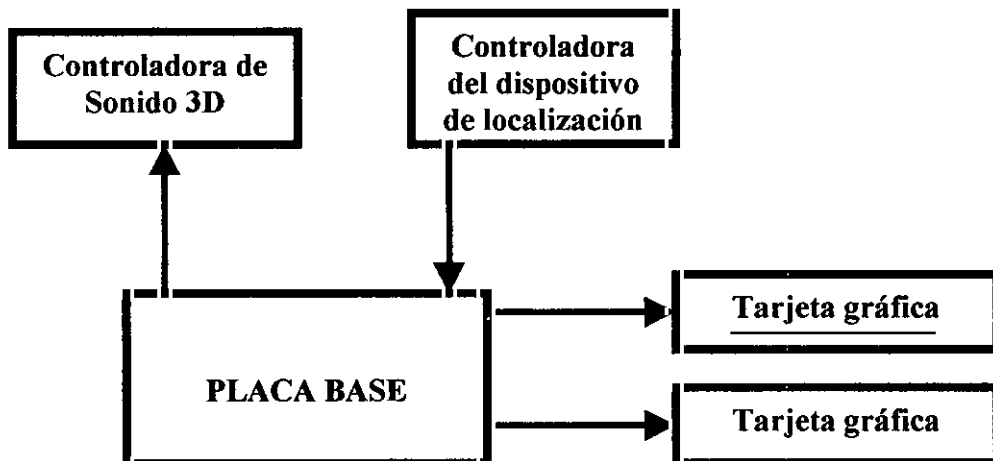
Estas secuencias son una serie de muestras que el ordenador tiene almacenadas para que en caso de que un objeto se mueva pasar de una a otra sin necesidad de realizar cálculo alguno. Cada secuencia modifica o interviene en un determinado comportamiento del objeto.

Cada objeto del espacio tridimensional tiene, aproximadamente, unas treinta representaciones gráficas distintas. El movimiento en el espacio tridimensional es indiferente ya que el algoritmo de síntesis se encarga de proyecta en la forma adecuada. Esto es la principal causa de que sea posible una menor representación gráfica, pero

implica una ocupación mayor de memoria.

Para optimizar el uso de la memoria se emplean métodos como el de evitar la duplicación, es decir, si en un espacio aparecen varios objetos iguales se empleará el mismo diagrama de animación para todos ellos. Otro método es descomponer el objeto en sus partes constitutivas y utilizar la misma secuencia para cada parte igual de todos los objetos. Otra técnica es el hacer coincidir el mismo diagrama de animación para varios subobjetos constituyentes de un objeto. Si movemos un cuerpo humano las extremidades se mueven, pero podemos hacer que la cabeza y el tronco se muevan dentro del mismo diagrama. Otra técnica es la simulación dinámica, que consiste en hacer que muchos objetos iguales creen algo distinto mediante una simulación de lo que queremos generar. Una explosión está compuesta de muchos polígonos iguales que se expanden mediante las leyes de simulación de una onda expansiva.

Los ordenadores o estaciones de trabajo se diferencian unos de otros por el tipo de arquitectura que posee cada uno. La arquitectura más simple podría ser la siguiente:



Esta sería la arquitectura básica. Tenemos la posibilidad de crear el estéreo, de poder localizar y oír a los diversos objetos que componen el espacio virtual. Los diferentes tipos de controladores dependerán de la aplicación en concreto que queramos desarrollar. Las tarjetas gráficas pueden incluir su propio procesador para generar las imágenes, el cual tendrá una lista de objetos con sus correspondientes posiciones y representaciones gráficas. Irá pasando de una a otra representación dependiendo de la información proporcionada por la placa base.

Puede ocurrir que sea la propia placa base la que se ocupe del procesamiento geométrico de los objetos y la tarjeta gráfica sea, tan sólo, un añadido. En este caso, el procesador principal entregará a la gráfica, listas de polígonos ya proyectados en pantalla con sus correspondientes colores en los vértices.

La arquitectura hardware, no obstante, suele ser más complicada. Las estaciones de

trabajo especializadas en gráficos 3D emplean dos métodos distintos para acelerar el proceso y, de este modo, aumentar la capacidad del sistema gráfico. Se las nombra como *arquitectura pipeline* y *arquitectura paralela*.

Los *pipelines gráficos* consisten en una unión de muchas CPUs dedicadas exclusivamente a hacer gráficos. El método de trabajo se fundamenta en la especialización: uno se dedica a hacer rotaciones, otro a calcular texturas, otro se dedica a hacer inclinaciones y así sucesivamente. La clave estriba en que cuando el primer procesador ha entregado el resultado al siguiente, éste queda libre para empezar a realizar los cálculos del siguiente. Se ejecutan, por tanto, varios procesos de modo simultáneo, con lo que se incrementa notablemente la velocidad de síntesis.

En las *arquitecturas paralelas* lo que se hace es duplicar el número de procesadores dedicados a una tarea en concreto.

En la arquitectura pipeline la velocidad de síntesis se limita el procesador más lento en realizar una tarea puesto que al ir pasando información de uno a otro procesador, si hay uno que trabaja a una velocidad menor, el resto de la cadena se ralentiza ya que hasta que no haya terminado de ejecutar la tarea, el micro anterior no puede pasar la información del siguiente polígono.

Con la arquitectura paralela el trabajo se acelera. El trabajo que debe realizar el micro más lento se reparte entre varios microprocesadores.

Un ejemplo claro de arquitectura paralela es el uso de tarjetas separadas para generar las imágenes correspondientes a cada ojo.

Ambos tipos de arquitectura se pueden combinar en cualquier eslabón de la cadena para así obtener un rendimiento mejor de la máquina. A este tipo de arquitectura se la podría llamar *arquitectura combinada*.

Lo más usual, no obstante, es que los sistemas de realidad virtual están configurados a partir de varias estaciones de trabajo y no una sola. Es lo que se llaman *arquitecturas distribuidas* y son un eslabón más en la síntesis de imágenes tridimensionales en tiempo real. La principal razón para el empleo de este tipo de arquitecturas es la incompatibilidad entre periféricos y plataformas. Ni todos los periféricos ni todo el software son útiles para cualquier clase de estación de trabajo. El uso de varias estaciones posibilita una gama más amplia de compatibilidades.

Otro motivo para la utilización de la arquitectura distribuida es el hecho de que existen plataformas con una aplicación preexistente ya generada y lo que nos interesa es usarla, implementándola con nuestro desarrollo. De este modo se pueden usar dos estaciones diferentes conectándolas mediante red, para que el trabajo de investigación sea menor.

Pero la razón más práctica de todas es consecuencia de un intento de mejorar el rendimiento del sistema empleando más de una plataforma, y haciéndolas trabajar según la

técnica de pipelining o del paralelismo. Con una única estación el tiempo de generación es el producto del resultado de diferentes tareas (localización, simulación y síntesis). Empleando varias estaciones de trabajo, cada una encargada de una tarea específica, el tiempo total de generación se reducirá. Con este sistema, mientras que una estación está generando los gráficos de la escena n , la segunda calcula los datos de simulación de la escena $n+1$ y la tercera está averiguando donde se encuentra el usuario en la escena $n+2$. Se reduce, de este modo, el tiempo de trabajo pero no el *tiempo de latencia* que, incluso, puede llegar a aumentar debido a los retardos en las comunicaciones locales. En concreto, una Ethernet puede generar un retraso de 40mseg en traspaso de datos. Las posibles soluciones pasan por repartir el mismo trabajo entre diversas máquinas. Esto es posible en la síntesis de gráficos, pero, todavía no se ha conseguido en el apartado de la simulación, lo que supone un punto de inflexión bastante difícil de superar.

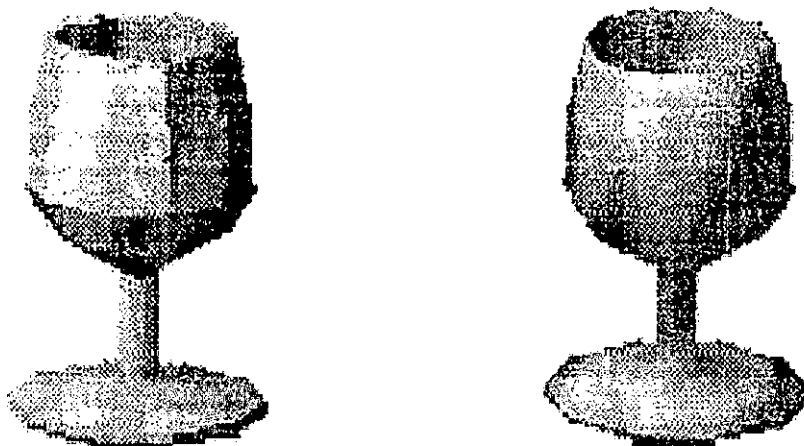
L.M. Del Pino González en su libro "Realidad Virtual" clasifica las estaciones de trabajo en tres categorías: *estaciones especializadas*, *estaciones gráficas* y *estaciones de propósito general*.

Las primeras son aquellas cuya arquitectura (hardware y software) son desarrolladas pensando específicamente en las necesidades que surgen en cada tipo de aplicación de realidad virtual. La empresa más importante en este tipo de máquinas para el sector profesional es Evans&Sutherland. Otras dos empresas que basan su mercado en este sector son Division y W Industries.

Las estaciones gráficas son aquellas cuya arquitectura está pensada para aplicaciones de gráficos 3D, por lo que tendríamos que incluir tanto la realidad virtual y simulación, como la animación, CAD y la visualización científica. La empresa líder en este sector es Silicon Graphics, puesto que casi todos los paquetes de software gráfico corren sobre estaciones Silicon. El subsistema gráfico Reality Engine (353 procesadores, 240 millones de pixels texturados por segundo y 1 millón de triángulos texturados con antialiasing por segundo) y la arquitectura Indigo 2 son los sistemas más potentes de Silicon hasta la fecha. La empresa francesa Caption se está empezando a abrir un hueco en este sector, junto a empresas como Sun y Digital que también están empezando a descubrir las posibilidades de esta parcela del mercado.

El tercer tipo de estaciones, las de propósito general, poseen un tipo de arquitectura que no está pensada para el tratamiento de gráficos 3D, por lo que necesitan de un determinado hardware gráfico de aceleración. Estas estaciones son las SPARC de Sun, las Alpha de Digital y las estaciones basadas en PC. Para cada una hay empresas distintas especializadas en proporcionarles el hardware gráfico necesario. No obstante, el campo en el que se está invirtiendo una mayor cantidad de dinero en investigación es el del PC. La mayoría de las tarjetas tienen ya una resolución de 1280*1024 bits, paleta a 24 bits y sombreado de Gouraud. Además, cuentan con una doble salida de vídeo o la posibilidad de

conectar dos tarjetas en paralelo, por lo que se puede crear visión estereoscópica sin ningún problema.



Diferencia que se obtiene utilizando sombreado de Gouraud

El proceso, no obstante, no se detiene en este punto ya que hay que dar una salida a estos gráficos generados en tiempo real para que el usuario pueda llegar a verlos. Es en este punto donde entran los paradigmas de visualización. El punto de partida del que partimos es que esa salida sea lo más aceptable posible. Los distintos paradigmas se diferencian, precisamente, en la calidad de la salida unido al grado de inmersión que proporcionan. La elección de un paradigma en detrimento de otro estará muy ligada al tipo de aplicación en la que estemos trabajando.

No obstante, antes de pasar al tema de los paradigmas de visualización profundizaremos un poco más en el apartado de síntesis de imágenes tridimensionales.

8.2. EL PROCESO DE SINTESIS

Hemos visto que las estaciones de trabajo se encargan de gestionar la simulación y la posición del usuario y, sobre todo, de generar los gráficos.

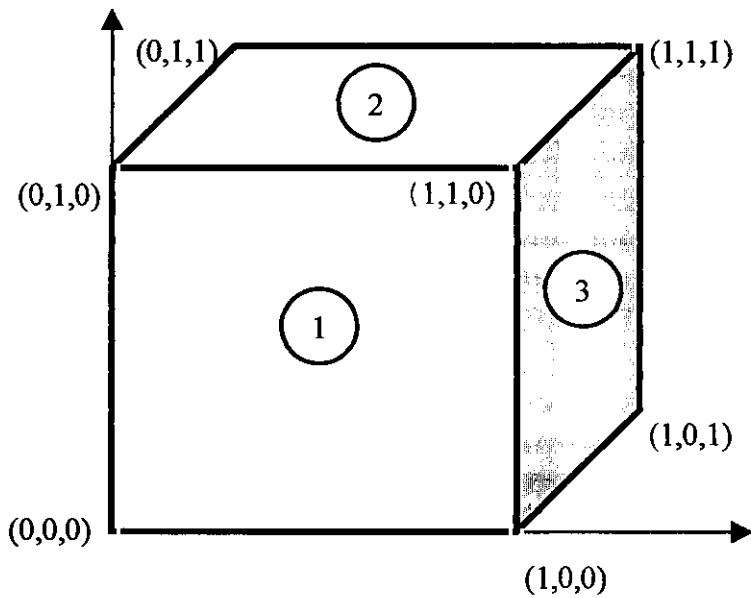
Una imagen generada por ordenador no es más que una serie de pixels ubicados en una determinada posición dentro de la "plantilla" del ordenador.

Para L.M. Del Pino González (1995, 88) la síntesis o el rendering de una imagen es *la secuencia de pasos que, partiendo de la definición gráfica de los objetos y la posición de éstos dentro de la escena, permite generar la imagen que representa la visión del mundo*

virtual correspondiente a la posición que el usuario ocupa.

Este proceso es el último de todos en las plataformas encargadas de generar mundos virtuales. Primero hay que saber la posición del usuario y realizar los cálculos necesarios para la simulación. Una vez hecho esto se genera la imagen que depende de dos factores fundamentales: la *geometría de la escena* y el *modelo de iluminación*. La geometría de la escena se define por la forma de los objetos y la posición que ocupan dentro del espacio; el modelo de iluminación es el encargado de crear la sensación final de realismo que la luz da a toda escena, ya sea virtual como real. Ambos hechos son complementarios e imprescindibles para conseguir el mayor grado de realidad dentro del entorno, aspecto fundamental en el mundo de la realidad virtual.

En la geometría de la escena hay que diferenciar entre objetos y escenas, propiamente dichas. Los objetos se determinan mediante su forma, principalmente. Hay veces que también influye la información de color, texturas, coeficientes de reflexión, etc. La forma de los objetos se expresa por medio de los polígonos que la componen, siendo cada polígono determinado por las coordenadas de sus vértices. El origen de coordenadas se denomina *centro del objeto* y tiene un origen arbitrario. El sistema de coordenadas correspondiente a ese origen recibe el nombre de *sistema de coordenadas del objeto*. En el ejemplo que viene a continuación la forma de los polígonos es cuadrada lo cual, en cierto modo, puede llegar a ser algo indiferente y aleatorio.



Este cubo está compuesto por tres polígonos, que serían definidos por los siguientes puntos de sus vértices según el sistema de coordenadas empleada que, en este caso, está situado en un borde del objeto. La definición para las caras visibles del cubo sería:

Polígono 1: (0,0,0) (0,1,0) (1,1,0) (1,0,0)

Polígono 2: (1,0,0) (1,1,0) (1,1,1) (1,0,1)

Polígono 3: (1,1,0) (0,1,0) (0,1,1) (1,1,1)

No obstante, la mayoría de los polígonos tienen forma triangular, por ser la forma más fácil de utilizar en el proceso de síntesis. Cuanto mayor sea el número de polígonos empleados, mayor será la definición del objeto a sintetizar.

Las escenas, por su parte, son una lista de objetos con sus correspondientes posiciones. Las posiciones se definen mediante la posición del centro del objeto con respecto a un origen de coordenadas, al que denominaremos *centro de la escena* que pertenece al *sistema de coordenadas de la escena*. También hay que definir el cambio de orientación del objeto, que se expresa matemáticamente mediante una matriz.

El modelo de iluminación elegido es el que condiciona el color del objeto según las distintas fuentes de luz que haya en la escena. En principio, los modelos de iluminación son los mismos que se emplean en animaciones. Uno de los factores esenciales en cualquier iluminación es el *sombreado*, que no es igual a *sombra*. La sombra es la zona oscura que provoca cualquier objeto, mientras que el sombreado es la diferencia de color entre distintas zonas del objeto atendiendo a la iluminación en ese momento. El sombreado se trata más en gráficos de realidad virtual que lo que se trabaja la sombra.

Hay distintos tipos de sombreado. El más simple de todos es el *sombreado aleatorio*, en el que se selecciona arbitrariamente un nivel de luz para cada polígono y, posteriormente, se ajusta el color de acuerdo con el nivel de luz. El objetivo es que el cerebro reconozca cada objeto por separado. El *sombreado plano* es, en esencia, igual que el anterior pero con la salvedad de que el nivel de luz no es aleatorio sino que se predetermina según la luz ambiente y la luz dirigida que incida en la escena. La luz incidente de cada polígono se calcula por separado puesto que cada uno tiene una distinta inclinación. Para saber el color del objeto hay que calcular, también, cuál es el coeficiente de reflexión de cada objeto. Esto se puede hacer polígono a polígono o averiguar la luz que refleja el objeto en su totalidad. La conclusión es que se consigue un efecto más realista que con el sombreado aleatorio, pero el problema del que adolece es que se nota la unión entre las aristas de los polígonos que conforman un objeto, lo que produce en el usuario una sensación bastante pobre. El modelo de *sombreado de Gouraud* evita este problema calculando, mediante el algoritmo de Gouraud, el color punto a punto con lo que las diferencias de color son muy suaves. El método de trabajo es calcular el color de cada uno de los vértices del polígono, y luego se asigna un valor intermedio a cada punto del polígono, dependiendo de su distancia al vértice. De este modo se evita la unión cortante entre aristas casi por completo. Este tipo de sombreado da un mayor realismo a la escena pero implica un mayor número de cálculos, por lo que casi todos los equipos que utilizan

este modelo, deben disponer de un hardware especializado en su cálculo.

En un modelo más complejo donde se quisiera conseguir un elevado índice de realismo, la iluminación se complicaría con más de una fuente de luz que variarían de orientación, no siendo totalmente puntuales y dirigidas a un punto del espacio. Además, habría que calcular el coeficiente de reflexión para cada componente (rojo, verde y azul) del color, lo que supone un incremento muy grande en la realización de cálculos en tiempo real.

Con la lista de objetos, cada uno con su posición y definición gráfica por medio de polígonos, ya tenemos compuesta la escena para iniciar el proceso de síntesis.

El primer paso es la *transformación de coordenadas* de los objetos respecto al observador. Previamente, hay que haber calculado la posición de los objetos respecto al centro de la escena. Después se calcula la posición del observador respecto a la escena y de estos dos datos se deduce la posición del objeto respecto al observador.

Una vez definida dicha posición eliminamos los objetos que caen fuera del campo visual del usuario o recortamos aquellos que queden parcialmente fuera del campo de visión, mediante un proceso denominado *clipping*.

Es en este momento cuando se hace el *cálculo de la iluminación* según los distintos métodos anteriormente señalados. Una vez realizado este proceso, se proyectan los objetos 3D en la pantalla. La *proyección* resulta ser plana y en perspectiva, según los valores X, Y y Z de las coordenadas. Cada polígono está definido mediante estos tres ejes en el espacio.

Cuando se proyectan la totalidad de los polígonos que componen la escena, se pasa al proceso de rasterización. Se empieza a trabajar con píxeles en lugar de con polígonos. Hasta ahora el observador contemplaría la totalidad de los píxeles que componen los polígonos; pero, en la realidad hay objetos que tapan a otros. Esto es lo que se calcula en el proceso de *z-buffering*: los píxeles que se van a ver en detrimento de los píxeles que van a tapar debido a la interposición entre objetos. Lo que se hace es pintar el píxel del objeto que está más cercano al usuario y no el de aquellos objetos que cubren el mismo píxel pero que están más alejados del observador. Para hallar el píxel más cercano tan sólo hay que calcularlo en el eje de la Z. Este proceso se realiza para todos los píxeles de la pantalla, por lo que necesitamos una casilla por píxel para guardar el valor de Z mínimo correspondiente. Al conjunto de todas las casillas es a lo que se le nombra como *z-buffer*.

Para poder dibujar el píxel hay que saber el color que tiene dependiendo del modelo de iluminación utilizado. Para el sombreado plano todos los puntos del polígono tienen el mismo color. Para el sombreado de Gouraud habrá que interpolar linealmente el color de los vértices del polígono.

El último paso es la *presentación de la imagen*. Todos los datos obtenidos de los cálculos anteriores no se estaban escribiendo directamente sobre la pantalla, sino en una memoria reservada para ello. Cuando se completan los cálculos se presenta la imagen de

golpe. Hay dos buffers o gestores de memoria: uno para presentar la imagen y otro para ir realizando los cálculos del siguiente frame. En los sistemas de realidad virtual estereoscópicos hay un doble buffer para cada ojo, ya que es el medio más adecuado de que las dos imágenes vayan lo más sincrónicas posible ya que el cambio de imagen se realiza simultáneamente para ambos ojos.

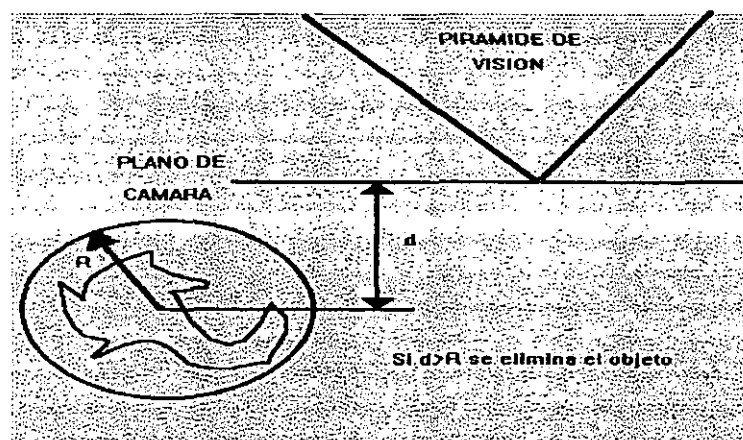
Se puede decir que hay dos fases en la síntesis de la imagen. La primera es la *fase de procesamiento geométrico* y comprende las transformaciones geométricas, el clipping, la iluminación y la proyección y sus cálculos son proporcionales al número de polígonos existentes en la escena. La segunda es la *fase de procesamiento ráster*, en la que se producen las operaciones de interpolación lineal y el flujo de información hacia el z-buffer y el buffer de la imagen. La cantidad de cálculos no son proporcionales al número de polígonos, sino a la superficie que éstos ocupan una vez proyectados en pantalla.

En toda aplicación hay que hacer un promedio entre la necesidad real y la capacidad del equipo en cada fase de síntesis de imagen. De esta forma se llegará a obtener un rendimiento máximo.

No obstante, si optimizamos cualquier paso del proceso se llegará a unos mejores resultados.

Lo ideal es conseguir adecuar a la capacidad de la máquina el cálculo del máximo número de polígonos y la máxima resolución de la pantalla. La realidad es que siempre necesitamos de una mayor capacidad para llegar a obtener una mayor resolución. Del Pino (1995, 113) propone dos principios que, no obstante, ayudan a conseguir el máximo provecho posible. El primero es *si el hacer algo no sirve para nada, no lo haga* que define la técnica de la *selección*, y el segundo se enuncia como *dedique más recursos a lo que más productivo sea*, el cual define las técnicas de *variación dinámica del nivel de detalle*.

El primer proceso es una cuestión de lógica. Los objetos ocultos detrás de otros y aquellos que no entran dentro de la pirámide de visión del usuario deben estar excluidos de todo tipo de cálculos. Se emplea para ello los *volúmenes de recubrimiento* que son figuras geométricas definidas de tal manera que todos los polígonos del objeto caen dentro de la misma. Si por ejemplo es una esfera el volumen que definimos y el objeto está situado detrás de la cámara y tiene un radio menor que la distancia al plano de cámara, podemos pasar al siguiente objeto porque no entrará dentro del campo perceptivo del usuario.



Esta técnica se puede emplear en todos los casos posibles, pero hay otro tipo de técnicas. Una de ellas es la llamada *técnica de partición espacial*. Si hay muchos objetos estáticos, sólo se procesan aquellos que entren dentro de la pirámide de la visión del ojo. Para averiguar cuáles son y cuáles no, se divide el espacio visual en partes iguales y se proyecta sobre el mismo la pirámide visual.

De los objetos visibles en la escena hay polígonos de los mismos que no se van a ver, conformando las caras ocultas de los objetos. El no sintetizar estos polígonos resultaría, por tanto, beneficioso para el proceso. El método de supresión utilizado se basa en el hecho de que el ángulo formado entre los polígonos que apuntan hacia el observador y el vector de posición del mismo observador ha de ser mayor de 90° para que sea generado. Todos los polígonos cuyos ángulos comprendidos entre estos dos vectores sean menores no se presentan al usuario. Se calcula que con este método el número de polígonos utilizado es del 50% por término medio.

Hasta ahora no le hemos dado textura al objeto, por lo que en todo momento sus colores son planos. La textura está íntimamente relacionada con la apariencia de tridimensionalidad. Este efecto puede desembocar en un uso excesivo de memoria. Para evitar el recurrir a técnicas de 3D se utilizan los *bitmaps* o matrices que indican el color de cada uno de los puntos que componen una cierta imagen. Las texturas están creadas ya a modo de *bitmaps* siendo el único paso a desarrollar el de proyectar cada *bitmap* en su correspondiente polígono tridimensional. No obstante, el uso de texturas encuentra su principal aplicación en el caso de superficies planas y extensas como una pared de ladrillos o una cadena montañosa. En objetos próximos al usuario hay que intentar reducir el número de polígonos al máximo utilizando texturas. Esto puede llegar a ralentizar la síntesis (si el número de polígonos reducidos no es muy grande), pero se llega a conseguir un grado mayor de realismo el cual se puede ver reducido con un mal uso de las luces, con un mal empleo de las técnicas de sombreado, con el *color de transparencia* y con la *corrección de perspectiva*.

Cada *bitmap* está pintado sobre un fondo. Si proyectamos el objeto del *bitmap* unido a su fondo sobre la escena, taparíamos parte de la misma con el fondo. Para evitar esto se emplean los colores de transparencia, es decir, colores que indican que no hay que pintarlos sobre la escena.

La corrección de perspectiva se hace para evitar que haya desfases entre las juntas de los *bitmaps* y los polígonos cuando éstos se "pegan".

Existe un caso particular de *bitmaps* denominados *auto-orientables*. Con esta técnica los objetos se representan mediante un polígono con textura, que rotan alrededor de un eje central a medida que se va moviendo el usuario. Juegos como el tan mundialmente

conocido DOOM emplean esta técnica.

Una técnica muy útil para la optimización en el proceso de síntesis es la *variación dinámica del nivel de detalle*. Cuando abordamos el tema de la fisiología visual descubrimos que los objetos que están tan alejados del observador que afectan a un número reducido de células visuales, son interpretadas como nulas por el cerebro en lo que se refiere a su definición gráfica.

Esto mismo se puede aplicar a la generación de mundos virtuales. Para cada objeto almacenaremos varias definiciones gráficas, y no sólo una con bastante resolución, dependiendo de situaciones como la distancia, la velocidad, el foco de atención, la selección del usuario y la carga de trabajo.

La variación del nivel de detalle con la distancia se basa en crear dos o tres definiciones gráficas para cada objeto, e ir cambiando de una a otra según nos vayamos acercando al mismo. Los métodos para pasar de una a otra son o por *transición abrupta*, es decir, se pasa de una a otra definición por corte, o por *mezcla*, la cual es más costosa.

En cuanto a la variación por velocidad se produce porque el ojo percibe de un modo más completo la definición de algo estático que algo en movimiento. Lo mismo ocurre si es el usuario el que se está moviendo. En ambos casos, mientras exista movimiento, pintamos con menor definición el objeto y le damos toda la definición cuando se haya conseguido el estatismo completo. Es lo que se llama la *técnica de refinamientos sucesivos*, pero no funciona en sistemas basados en cascos, ya que es casi imposible que el usuario permanezca estático.

Otro modo de variar el nivel de detalle es aplicándolo a la distancia del objeto al eje de visión del usuario. En los simuladores se ha comprobado que los objetos que están más próximos a este eje se perciben mejor que los que están más alejados. La retina de nuestro ojo funciona igual: los objetos más próximos al centro de la misma se perciben con un nivel de detalle superior a aquellos que se encuentran en el límite de nuestro campo visual. Esto también se puede aplicar al hecho de que hay aplicaciones en las que el usuario necesita poder disponer de una mayor definición en algunos objetos que en otros. El sistema CAVE para visualizaciones científicas emplea este método de discriminación en el nivel de detalle.

La estación de trabajo, por último, también puede necesitar variar el nivel de detalle para el total o un grupo de objetos en función de la carga de trabajo existente en ese momento. No obstante, hay aplicaciones en donde esto puede llegar a resultar totalmente imposible de hacer. Un ejemplo claro serían los juegos comerciales donde la definición tiene que ser homogénea en todo momento.

El proceso de síntesis, por tanto, se puede hacer todo lo complejo que se quiera dependiendo del tipo de aplicación y del equipamiento del que dispongamos. Defectos como la no-existencia de aristas redondeadas debido a la definición de los objetos mediante

polígonos son causados por la propia síntesis de las imágenes. Para evitar esto hay dos modos: o que el sistema sea tan potente que sea capaz de operar con un número elevadísimo de polígonos o, también, redondeando cada polígono mediante cálculos matemáticos muy complejos, lo que suele ser bastante inviable para operar en sistemas de realidad virtual en los que siempre hay que tener en cuenta que su principal objetivo es la generación de imágenes interactivas en tiempo real.

Aún contando con el mejor de los equipamientos, hay errores que no se pueden evitar en este proceso de síntesis puesto que son ajenos al mismo. Factores como la resolución de los monitores en los paradigmas de visualización no entran como aspecto a evitar, en la creación de mundos virtuales. El que las líneas inclinadas tengan la forma de escalera o las distorsiones que se producen cuando convergen varias líneas en el infinito, es lo que se llama *efecto aliasing*. Para evitarlo existe la técnica del *sobremuestreo*, consistente en muestrear las imágenes a una resolución mayor de lo que permite la pantalla. A cada pixel, por tanto, le corresponde un grupo de muestras. Otra técnica es la del *filtrado*, mediante la cual y gracias a una serie de cálculos matemáticos sobre la imagen ya generada, se difuminan los contornos de los objetos.

El aliasing también puede producirse en la textura de los objetos.

Una vez creados los objetos hay que visualizarlos. El medio o modo de hacerlo es lo que va a diferenciar a unos sistemas de otros. Los paradigmas de visualización son la parte del proceso de la realidad virtual donde más realismo se pierde. Las pantallas no suelen estar preparadas para la resolución que se les exige y que les proporciona la estación de trabajo generadora de gráficos. El resultado es una gran pérdida de realismo en las imágenes, aunque son el mejor medio de inmersión que necesitan todos los sistemas virtuales para proporcionar la información del sistema al usuario.

8.3. PARADIGMAS DE VISUALIZACIÓN

Existe una necesidad lógica de disponer de dispositivos de salida con los que el usuario pueda ver en qué consiste el mundo virtual y proporcionar la información necesaria al usuario sobre el estado del mundo virtual.

Luis Manuel del Pino González (1995, 47) clasifica estos dispositivos dependiendo del estímulo que afecta al usuario. Según esto existen:

- * Dispositivos de presentación, que es lo que nosotros denominaremos como *paradigmas de visualización*.

- * Dispositivos de audio, que proporcionan la información sonora sobre el mundo virtual.

- * Dispositivos de retroalimentación táctil, que nos hacen llegar la información que es necesaria para el tacto.

- * Dispositivos de realimentación cinestésica, que simulan propiedades mecánicas de los objetos, tales como la resistencia o la inercia.

- * Dispositivos móviles, que simulan los movimientos de la navegación en el mundo virtual.

Como ya hicimos constar al abordar el tema de la fisiología visual, la mayor parte de información acerca del mundo que le rodea le viene proporcionada por el sentido de la vista. Los dispositivos de presentación nos dan la información sobre un objeto y sobre el mundo que le rodea en un espacio virtual.

Pero, seguramente, el término paradigma de visualización describe mejor el concepto al cual nos estamos refiriendo.

La palabra paradigma viene del griego y significa modelo, ejemplo, pero, también tiene la connotación de mostrar, manifestar. Fue Carolina Cruz-Neira quien empezó a emplear el término paradigma de visualización para indicar las distintas maneras existentes de mostrar visualmente aquello que está generando el ordenador.

El paradigma de visualización más extendido hasta la fecha es el casco estereoscópico como medio de visualizar mundos artificiales. A grandes rasgos, más adelante entraremos en una mayor profundidad, en un casco se produce una toma de dos señales de vídeo procedentes de un ordenador que es el que marca la frecuencia de la señal. El casco posee un sistema óptico especial y un sistema de monitores en los que se proyecta una imagen diferente en cada ojo. Los paradigmas de visualización son totalmente independientes del hardware que tengamos para calcular los gráficos.

El casco estereoscópico no es la única posibilidad aunque es el más difundido gracias a los medios de comunicación. De los diferentes sistemas visualizadores es lo que abordamos en este punto. No obstante, hay que tener muy claro que todo sistema de realidad virtual requiere, a priori, un software con unas características determinadas para suplir unas necesidades que se resumen en generar imágenes realistas en tiempo real, y un hardware especializado en generar esas imágenes, y que es lo que llamamos pipelines gráficos, que pueden ser o más sofisticados o más sencillos.

8.4. MONITORES O PROYECTORES

Son sistemas en los que se utiliza este tipo de tecnología convencional para presentar las imágenes sintetizadas. Del Pino González en su libro, "Realidad virtual", los

nombrada como *sistemas proyectivos y de sobremesa*.

La principal ventaja de este tipo de paradigma es su excelente resolución. Pueden llegar a valores tales como 1280*1024 puntos, 1600*1200, 2048*2048, lo cual supone una calidad en la imagen muy sobresaliente. Otra ventaja añadida es la carencia de empleo de interfaces gráficas, lo que hace más cómodo la interacción con el mundo virtual.

La contrapartida es que no son inmersivos, el ángulo de visión es pequeño y, por encima de todo, la imagen no es estereoscópica. Estas desventajas los inhabilitan, en gran medida, para el uso en realidad virtual. Constituye un paradigma de visualización *pasivo* según el grado de inmersión, es decir, el usuario solo ve lo que pasa. Según el nivel de inmersión nos podemos encontrar con paradigmas *exploratorios* en los que el usuario se puede mover dentro del ambiente, y paradigmas *interactivos*, en los que el usuario interactúa con el mundo virtual.

En el caso de paradigmas pasivos como los monitores, el usuario tiene una sensación de contemplar el mundo a través de una ventana. Sería similar a la experiencia de ver la televisión. La pérdida de sentido de inmersión, sin embargo, no es tan acusada puesto que, el cibernauta, puede interactuar en el mundo a un nivel bastante reducido, lo que provoca el que no sea muy útil para la realidad virtual.

No requieren de ningún periférico anexo, lo que reduce su coste pero no impide la visión del mundo circundante. Bajamos en nivel de inmersión pero si el usuario debe manejar un instrumento complejo o ir introduciendo información textual al ordenador, la comodidad de este paradigma es bastante notable. En cuanto a la no-inmersión, se ha comprobado que algunos videojuegos proporcionan un elevado índice de inmersión psicológica aún cuando no haya inmersión física real.

En todo sistema de realidad virtual necesitamos saber la posición del usuario. En los sistemas de monitores se puede emplear cualquiera de los mecanismos existentes para averiguar la posición de la cabeza del usuario. De este modo, se actualizarán las imágenes del monitor en tiempo real. Se consigue el efecto de mirar a través de una ventana; mirando a la izquierda el paisaje se desplazará a la derecha, y viceversa. A pesar de todo el movimiento que consigue el usuario es restringido, ya que se tiene que estar observando continuamente la pantalla.

En definitiva, el sistema de realidad virtual por medio de monitores se suelen utilizar para videojuegos, ya que se consigue la suficiente inmersión psicológica con un bajo coste, lo que hace de estos sistemas fácilmente amortizables.

En cuanto a los sistemas que usan la proyección como medio de visualización, hay que decir que son más inmersivos ya que cuentan con todas las ventajas de los monitores más el hecho de que se suelen emplear en cabinas donde el cibernauta se introduce y disfruta de la proyección virtual. Incluso, el problema del ángulo de visión restringido estaría solucionado, ya que se suelen colocar unas pantallas de proyección a continuación

de otras, actualizando las imágenes simultáneamente.

En este sistema de proyección se basa la CAVE de Carolina Cruz-Neira y descubriremos todas las ventajas que posee respecto a otros paradigmas de visualización en realidad virtual. El mundo del ocio ha descubierto las enormes posibilidades de introducir a la gente en cabinas para el disfrute de la realidad virtual, ya que con un mismo paradigma pueden estar varias personas al mismo tiempo, jugando al mismo juego.

Los sistemas basados en monitores han seguido evolucionando principalmente debido, al mundo del entretenimiento. Se ha llegado a dos tipos de monitores algo más desarrollados: el *monitor o proyector estéreo activo* y el *monitor o proyector estéreo pasivo*.

El primero consiste en un sistema de video entrelazado a 120Hz. Es, por tanto, un modo especial de tratar la señal de vídeo ya que hay que conseguir crear, a partir de una misma imagen, dos señales de vídeo distintas, para obtener una imagen diferente para cada ojo.

El proceso empieza con la creación de la señal. Lo que se hace es pintar primero las líneas impares que corresponden al ojo izquierdo y, después, las pares que corresponden al ojo derecho. De este modo, el ordenador ha generado dos puntos de vista diferentes, una para cada ojo. Con un método especial a nivel de hardware se solapan y entrelazan las dos señales, para dar como resultado una única señal de vídeo con una frecuencia de 120Hz.

En la pantalla lo que se observa es la mezcla de ambas imágenes, pero no una imagen estereoscópica que es el fundamento de la realidad virtual. Para poder ver la imagen tridimensional necesitamos un sistema de proyección activa sincronizado con unas gafas de obturación alternativa. El cristal derecho de las gafas obtura cuando aparecen las líneas impares que corresponden al ojo izquierdo. El cristal izquierdo obtura cuando aparecen las líneas pares que corresponden al ojo derecho, siendo el cerebro el que se encarga de crear, a partir de esta información, la escena tridimensional.

Las gafas están sincronizadas con la señal de vídeo por medio de infrarrojos, es decir, es el monitor el que nos activa a nosotros, por lo que puede ser usado por más de un usuario al mismo tiempo.

La condición de trabajar a 120Hz se debe a que gracias a esta frecuencia se logran 60 fotogramas estéreo/segundo por cada ojo.

Este factor requiere de monitores/proyectores que soporten un rango de frecuencia vertical entre 105Hz y 120Hz. Tienen que ser monitores que no entrelacen, es decir, presentan primero la imagen correspondiente a un ojo y después la otra. El problema que surge al no haber entrelazado es la pérdida de resolución, por lo que se ha desarrollado los monitores con una frecuencia de 105Hz que permiten una mayor resolución. En general, proporciona una muy buena calidad y su relación coste/prestaciones es elevada si se compara con la de los cascos.

El grado de inmersión depende del campo visual cubierto, es decir, de lo grande que sea la pantalla pero siempre es menor que en los cascos. Otro factor de pérdida de nivel de inmersión es la interposición entre nosotros y el monitor por otro usuario. La pérdida de inmersión va en relación al ancho del campo visual del monitor que nos esté tapando, además de que la sensación de distancia se dispersa totalmente. Es, por tanto, un paradigma de visualización no apto para varios usuarios al mismo tiempo.

Con el *monitor o proyector estéreo pasivo* los usuarios sólo usan gafas polarizadas, similares a unas gafas de sol, con un bajo coste. El filtro que utilizan las gafas polariza en horizontal y en vertical, en dirección radial y circular, lo cual permite tener una polarización distinta en cada ojo.

Se coloca un filtro delante del proyector y se activa una proyección diferente en función de si estás proyectando el punto de vista del ojo izquierdo o del derecho, con lo que esa proyección tiene una polarización diferente en la pantalla (según sea del ojo izquierdo o del derecho) y al tener un filtro distinto en cada ojo, el usuario ve en estéreo esa pantalla.

Con este tipo de monitores nos encontramos ante dos graves problemas; el primero consiste en que al polarizar la luz del proyector para cada ojo, la luminosidad total del proyector que llega a los usuarios es la mitad de la que realmente tiene el proyector, lo que implica que la distancia a la proyección no tiene que ser muy grande o que el proyector debe tener mayor luminosidad para que el usuario vea con una luz normal, por lo que la inversión económica ha de ser mayor. El segundo problema es técnico y estriba en que, a veces, la imagen del ojo izquierdo se te mete en el derecho y viceversa.

Estos son los tres tipos de monitores o proyectores que existen. El principal problema que nos encontramos para usar en aplicaciones de realidad virtual es su paupérrimo nivel de inmersión. Por otro lado, su coste económico es bastante reducido, por lo que las empresas del entretenimiento han puesto sus miras en este tipo de paradigma de realidad virtual que tiene el mismo soporte que los videojuegos tradicionales.

8.5. BOOM

BOOM se podría traducir como *monitor de omniorientación binocular* y fue desarrollado en 1990 por los investigadores del Ames Research Center de la NASA. Es una especie de caja que cuelga de un trípode articulado por un sistema de poleas y brazos. Se maneja como una cámara de video en la que el cibernauta se coloca frente a la óptica pudiéndose mover en cualquier dirección. El ordenador irá generando gráficos sincronizados con el movimiento y en tiempo real.

Una virtud que posee este sistema es la utilización de *CRT's* en B/N o color de muy alta resolución. El no tener problemas de peso para el usuario gracias al brazo articulado, facilita el uso de este tipo de componentes de pantalla del monitor. Hasta ahora la utilización de este tipo de componentes crea una mayor sensación de realismo, por su mayor definición, en la visión estereoscópica. Se puede llegar a conseguir una resolución de 1280*1024 pixeles en monocromático y 1280*500 pixeles en color, con una pupila de salida bastante más grande que la de los cascos estereoscópicos.

Los CRTs o *tubos de rayos catódicos* son un sistema muy común de dispositivo de imagen para monitores de televisión o de ordenador. Producen luz propia dirigiendo un flujo de electrones a través de un tubo de vacío, e impactando sobre superficie con una capa de fósforo que es lo que les hace autoiluminables. Para formar imágenes, el flujo es dirigido a una velocidad de 650 metros por segundo. De este modo se dibuja la imagen con la suficiente rapidez como para evitar parpadeos y asegurar la estabilidad de la imagen en pantalla. El escaso tamaño de los CRTs pueden proporcionar imágenes de muy alta resolución. Además, su gran poder de contraste permite unos matices y contornos de las figuras más suaves.

En cuanto al tema interactividad destaca su gran rapidez de respuesta. Se suele utilizar en conexión con un guante para mejorar dicha interacción. El sistema te permite un tiempo de latencia reducido debido a que el posicionamiento ya es muy preciso gracias a la rapidez de actuación de los sensores Polhemus.

Estos dos factores proporcionan un alto índice de realismo y credibilidad al ciberespacio.

El que sea un aparato ligero proporciona al usuario la posibilidad de disfrutar del sistema de un mayor número de horas en plena interacción y sin cansarse físicamente. Además, nos podemos mover por el ciberespacio sin ningún tipo de problemas. Es fácil de quitar y poner; uno puede estar trabajando con él, te lo quitas y puedes ir al teclado o llamar por teléfono, etc.

En definitiva, es un sistema no muy vistoso pero sí muy útil, aunque con algunos problemas graves. El principal es la falta de inmersión provocada por dos hechos fundamentales: mirar a un monitor y no estar rodeado por completo por el ciberespacio como ocurre con el casco estereoscópico es el primero; la libertad de movimientos restringidos, es decir, el movimiento circunscrito al radio de acción del brazo articulado, es el segundo.

Este motivo de falta de inmersión hace que no sea el paradigma de visualización perfecto en realidad virtual. Su uso debe estar adecuado al tipo de aplicación desarrollada. En aplicaciones de arquitectura y ciencias se suele utilizar, debido a la enorme precisión con la que el sistema BOOM trabaja con los datos.



BOOM

8.6. CAVE

El sistema CAVE fue concebido originalmente por Thomas DeFanti y Dan Sandin, ambos directores del Laboratorio de Visualización Electrónica en la Universidad de Illinois en Chicago, cuyas conclusiones fueron presentadas en las conferencias que tuvieron lugar durante el Siggraph' 93.

El desarrollo de este paradigma de visualización fue llevado a cabo por la española *Carolina Cruz Neira* en ese mismo departamento.

La idea había partido originariamente de James E. George y su experimento denominado *Showcase*. Un comité de investigación en USA que busca soluciones a problemas de visualización e interactividad entre científicos le propuso a James E. George el crear un entorno en el que fuera posible dar una conferencia a varios usuarios y en el que

cada uno estuviera abocado a una pantalla que le permitiera interactuar con los demás. La CAVE fue diseñada como un "teatro de Realidad Virtual" cuyas proyecciones y criterios eran los mismos que los del SHOWCASE, es decir, poder presentar las investigaciones de cada uno en pantallas y poder interactuar con ellas.

Las pretensiones iniciales consistían en crear un sistema de Realidad Virtual que evitara limitaciones como resolución pobre de la imagen, la falta de aislamiento total del mundo real y el no poder compartir en un mismo tiempo la misma experiencia virtual por varios usuarios que se encuentren en sitios distintos.

El sistema CAVE - se puede traducir al español como CUEVA- consiste en un cubo en el que se proyectan imágenes estereoscópicas generadas por ordenador, en cada una de las paredes. La ilusión de inmersión se produce en un grado bastante elevado, ya que la persona se sumerge físicamente, incluso, en la realidad de la cueva. La inmersión se complementa con un sistema de seguimiento de cabeza y manos por medio de un guante de datos y de unas gafas obturadoras que lleva el usuario. Esto permite crear la correcta perspectiva en estéreo y, mediante el guante de datos, aislar la posición y orientación del usuario y, de este modo, proporcionar entradas de información en tres dimensiones. El usuario se mueve dentro del cubo y manipula los objetos con una especie de varilla con tres botones.

El CAVE aporta como novedad el que objetos reales y virtuales interaccionen en un mismo espacio llegando, incluso, a que el usuario tenga una visión de su propio cuerpo mientras interactúa con los objetos virtuales.

El objetivo que Carolina Cruz-Neira se propone a la hora de desarrollar este paradigma de visualización es crear un instrumento lo bastante útil como para que los científicos investiguen en un mismo entorno de la forma más cómoda posible. Este sistema es una herramienta para la visualización científica, lo que implica que tiene que ser distinta a los usados en otro tipo de aplicaciones. El principal motivo por el que los investigadores se habían negado a usar Realidad Virtual en sus trabajos era la baja resolución con que contaban los equipos. El CAVE es la primera herramienta que consigue una definición lo suficientemente óptima como para ser usada como herramienta de trabajo.

Además, para los científicos resultaba bastante incómodo el colocarse aparatos como el casco en su quehacer diario, ya que debido al peso del mismo el cansancio se hacía insoportable. Se pensó en un sistema en el que se evitara el casco pero con un grado de inmersión similar. El resultado fue que había que crear un paradigma de visualización cuyos gráficos tuvieran un mayor número de polígonos. Este factor determinaba una menor velocidad de respuesta por parte de los equipos y una mejor calibración de los instrumentos de manipulación, puesto que con este sistema los científicos manipulan aire. Había que añadir el que los científicos exigían el poder integrar imagen virtual con imagen real.

Se consiguió que varios científicos trabajaran a la vez en un mismo entorno

generado dentro de una misma Cueva, pero había que solucionar el dar la posibilidad de trabajar a distancia, es decir, conectar por medio de una red universidades o centros de trabajo para que los investigadores pudieran trabajar en el mismo proyecto desde lugares diferentes. Con los condicionamientos previamente citados la workstation podía generar 15 imágenes por segundo. Se conectaron CAVES a la red Soramnet que tenía un flujo de datos de 150 mbites/seg. Se comprobó que con esa velocidad sólo se podía mandar 1 imagen por segundo, lo cual implica una pérdida de resolución de 14 imágenes en un segundo. Al principio de las CAVES eran las propias redes de comunicación las que ponían las limitaciones a dicho sistema, las cuales se intentaron remediar en la medida de lo posible mediante software de comunicación entre CAVES.

No obstante, se había conseguido algo fundamental para sentar las bases de este sistema: los científicos empezaron a usar la Realidad Virtual como un instrumento de simulación en sus investigaciones. El resultado es equiparable a los conseguidos por el microscopio, es decir, poco a poco será una herramienta fundamental en el mundo de las investigaciones. Sabemos que la ciencia ya no es algo que se desarrolla en solitario, sino que cada vez depende más del trabajo en grupo. La interactividad y la simulación son los dos grandes logros conseguidos por este sistema.

El CAVE se ha convertido en el mejor simulador de realidad para la visualización científica. Su único problema es su tamaño; es un habitáculo tan enorme que cabe en pocos sitios. Sin embargo, ha superado barreras como la escasa resolución de los monitores LCD que tienen que emplear otros sistemas y la incomodidad que supone trabajar con el del Head Mountain Display o casco estereoscópico. Estos paradigmas de visualización resultan mejor en otro tipo de aplicaciones donde no se pueden disponer de grandes espacios que necesitaría el CAVE o el BOOM. El casco HMD resulta el más adecuado para los juegos de salón debido, principalmente, a dos factores: la duración de cada partida es de dos o tres minutos por lo que no resulta incómodo el llevarlo puesto siendo, además, la herramienta de visualización con unos resultados publicitarios más conseguidos. Actualmente, la gran mayoría de la gente no entiende el sumergirse y navegar en un espacio virtual sin el uso de un casco estereoscópico que, según ellos, proporciona el mayor grado de inmersión posible. Los medios de comunicación han cumplido bien su tarea.

El uso de un determinado tipo de paradigma tiene que venir en función del tipo de aplicación que se desee desarrollar.

Carolina Cruz-Neira intentó averiguar como punto de partida que datos son los que hay que tener en cuenta a la hora de generar gráficos para simular la realidad. Encontró que para generar un gráfico realista hay que tener en cuenta los siguientes puntos, los cuales ya han sido desarrollados de una forma más extensa en el capítulo sobre el aparato visual de esta tesis.

1) *Oclusión* (superficies escondidas)

- 2) *Proyección de perspectivas*
- 3) *Disparidad binocular* (gafas estéreo)
- 4) *Paralelaje en el movimiento* (movimiento de la cabeza)
- 5) *Convergencia* (cantidad que los ojos giran hacia el centro de interés, básicamente tu rango óptico de visión)
- 6) *Acomodación* (foco del ojo, como unas lentes reflex simples cuando encuentran el punto de atención y lo enfocan en una cámara de fotos automática)
- 7) *Atmósfera* (niebla)
- 8) *Luces y sombras*

Los gráficos convencionales generados por ordenador, es decir, la infografía, nos resuelve los puntos 1), 2), 7) y 8).

Para trabajar con Realidad Virtual hay que tener muy en cuenta también los puntos 3), 4) y 5).

En cuanto a lo que se refiere al punto 6) ningún tipo de gráfico acomoda su foco a la distancia a la que le estemos mirando, sino que en los gráficos todo está totalmente enfocado, incluso las cosas más cercanas que deberían estar un poco más borrosas. Esto hace perder un poco de realismo pero, de otro modo, sería imposible generar gráficos en tiempo real en los que también influyera la distancia del usuario a la pantalla.

Así que Carolina construyó un cubo de 6 paredes en el que sólo se proyectan imágenes en cuatro de las seis paredes posibles, es decir, en todas menos en el techo y en la parte de atrás respecto a la posición del usuario. El principal motivo de esta limitación no es otra que el dinero.

Cada pantalla de la pared recibe una proyección en 3D, las cuales se tienen que ver con unas gafas de cristal líquido. Las gafas estereoscópicas puede ser activas o pasivas. Las pasivas tienen una polarización circular donde cada cristal está polarizado en un sentido. Un sentido lo dan las imágenes impares y el contrario lo dan las pares. Las activas tienen cristales LCD y un dispositivo receptor sincronizado con la señal de refresco de la pantalla. Estas últimas son el tipo de gafas empleadas en la cueva de Carolina Cruz-Neira cuyas proyecciones deben cumplir una serie de características:

- *Convergencia*: es decir, hay una imagen para el ojo izquierdo y otra imagen para el ojo derecho. El cerebro combina ambas imágenes y vemos en 3D. Este fenómeno ya ha sido explicado.

- *Corrección de distorsión*: la distorsión se produce en la salida de imagen por los cascos; con este sistema, estas distorsiones se corrigen en el proyector.

- *Sombras*: la persona puede producir sombras en la cueva, y esto se

soluciona inclinando un espejo, situado en la parte superior de la CAVE, para que la sombra esté detrás del usuario. Este fue un grave problema cuya solución llevó tiempo descubrir.

- *Sincronización de la imagen en las cuatro paredes:* sobre todo hay que sincronizar las esquinas, lo cual es bastante complicado. Se solucionó por medio de un Reflect Memory que une por fibra óptica los ordenadores, lo cual facilita una sincronización más rápida y más perfecta.

- *Oclusión:* puede haber varias personas al mismo tiempo dentro de la CAVE. Puede ocurrir que se tapen unas a otras haciendo más difícil la interactividad con el sistema.

- *Enfermedad por movimiento:* con el casco te puedes marear fácilmente; en la CAVE es más difícil que ocurra esto.

- *Refinamiento sucesivo:* para mantener la velocidad de muestreo hay veces que hay que bajar el nivel de detalle de las imágenes; las claves para hacer esto con un grado de realismo elevado se dieron en el capítulo sobre el sistema visual. En la CAVE se empieza con nivel de detalle bajo y se va mejorando a medida de que los científicos se van centrando en un punto, siendo en ese momento cuando se baja la velocidad de muestreo y aumenta el nivel de detalle. Esto que puede resultar raro para nuestra percepción no lo es tanto, ya que aunque tu vista se centre en un punto en concreto, tú miras a tu alrededor y sigues viendo cosas. De este modo se pueden combinar objetos reales con objetos virtuales que era una de las exigencias por parte de los científicos para trabajar con este simulador. Poder trabajar tanto con objetos reales como virtuales denota una gran capacidad de desarrollo por parte de este sistema.

- *Aplicaciones generales:* no sólo sirve para la ciencia, sino que sirve para cualquier tipo de aplicación.

Al final, el gran problema a resolver fue el de la integración de todos los equipos en uno sólo. Cada fabricante hace su propio material sin pensar en la posibilidad de integración con otros equipos. En casos como la CAVE supone un gran handicap.

Carolina Cruz-Neira y su equipo de ingenieros se propusieron como metas a la hora de diseñar la Cueva una serie de cuestiones que en ese momento y, actualmente también, ningún otro sistema de Realidad Virtual podía resolver con la brillantez con la que lo hace la CAVE. Ellos lo resumieron en cinco apartados:

- 1) El deseo de proporcionar unas imágenes con una mayor resolución y una buena

visión en los contornos sin distorsiones geométricas.

2) El evitar que una menor sensibilidad a la rotación de la cabeza induzca a errores.

3) La habilidad para mezclar imágenes de Realidad Virtual con aparatos reales (como una mano, por ejemplo).

4) La necesidad de guiar y enseñar a los otros en los mundos artificiales de un modo razonable. La CAVE es, hasta ahora, el mejor modo de enseñanza de lo que se puede llegar a hacer en un ciberespacio.

5) El deseo de unir grandes supercomputadoras con bases de datos para sucesivos refinamientos. Esto puede llegar a dar una cantidad ilimitada de información a los usuarios del sistema.

Las barreras que solucionaron -como veremos más adelante- incluye eliminar el retraso inherente en los tubos de proyección del verde, el detalle en las esquinas y la sincronización precisa al frame de todas las workstations. Los ajustes electromagnéticos requirieron construir el soporte de la CAVE con acero inoxidable (que no es muy conductivo); no obstante, hoy en día sigue habiendo problemas debido a la existencia de metales conductivos en los espejos y en los techos de la habitación.

La CAVE que se exhibe en las conferencias tiene 10m*10m*10m con tres proyectores, uno para cada muro, situados fuera de la CAVE, más un proyector para el techo.

Los proyectores trabajan con estaciones de trabajo que dan 1280*512 campos a 120Hz en las pantallas, lo que proporciona una resolución entre 2000 y 4000 píxeles en los márgenes de la pantalla, lo que implica que en centro de la pantalla gozaremos de una resolución bastante más elevada.

Si nos referimos al audio, el ordenador dispone de un controlador que lo deja manipular o utilizar por varios usuarios al mismo tiempo, teniendo el mismo resultado para todas las personas que lo utilizan a la misma vez.

Se recoge la información de los movimientos de manos y cabeza por medio de sensores Polhemus o Ascension.

Las gafas estéreo LCD empleadas obturan, con lo que así se para alternar la imagen que llega a cada ojo.

Cuatro Silicon Graphics de última generación -uno por pantalla- forman las imágenes; están unidos a una quinta workstation de Systran Corporation, empleado para las comunicaciones y las sincronizaciones vía fibra óptica con memoria reflectiva.

La CAVE debe estar colocada en una habitación de 30*20*13m de tal forma que los proyectores se reflejen en espejos. Este es el gran problema de este sistema: las enormes dimensiones que debe tener el recinto que lo contenga. Es, por sí sólo, una especie de laboratorio de simulación artificial en cualquier campo de investigación.

Pero vayamos por partes en nuestro estudio de este interesante sistema. Empecemos

por el apartado de la proyección y, más concretamente, por los lados del cubo que componen este paradigma de visualización.

En los gráficos generados por computador, la proyección plana se puede dar desde cualquier lado, es decir, no tiene porqué ser perpendicular al usuario, cosa que suele ocurrir en el HMD y en el BOOM. Un ejemplo de proyección inusual se da en la esfera del OMNIMAX y en algunos simuladores de vuelo, pero esta proyección es imposible que vaya unida al tiempo real, lo cual es básico en la Realidad Virtual.

La CAVE usa un cubo como la mejor aproximación a la esfera. El que tenga esta forma no es circunstancial ya que con ello se consigue el ayudar a la gente a situarse mejor en el espacio, ya que estamos más acostumbrados a estar dentro de espacios cúbicos que esféricos; además, el ajuste de las prestaciones para gráficos de los equipos de alta resolución se consigue de un modo más fácil y mejor, ya que estos equipos se crearon pensando en la proyección plana.

Los defectos que se pueden encontrar se producen a la hora de construir un cubo perfecto, en el que hay que sincronizar todos los proyectores en las esquinas y lados de cada cara del cubo. Afortunadamente y como veremos más adelante, Carolina y su equipo pudieron resolver esta cuestión.

La proyección de gráficos que puede darse sobre superficies planas resulta ser de dos tipos: la que toma como centro del punto de vista al usuario, y la proyección tipo ventana.

La primera es la más común de las proyecciones y toma como centro al usuario. Este tipo de proyección simula la forma en la que se puede mover una cámara en una película de cine. Incluye la dirección de la mirada, el ángulo y la longitud focal, la posición, etc. Es un sistema similar a lo que podría verse con unas cámaras que fueran estéreo.

El segundo tipo se denomina *proyección tipo ventana*; este sistema de proyección se basa en la plena especificación del plano de proyección y el punto de proyección creando, de este modo, una proyección basada en los ejes off-axis.

El usuario se mueve con el entorno y va cambiando la proyección estéreo de los off-axis según la ruta o el camino que vaya realizando.

El uso de librerías para este tipo de proyecciones se convierte en un aspecto fundamental, debido a que al estar creadas las perspectivas, rotaciones, traslaciones, etc., no hace falta ir generándolas en tiempo real. Las librerías más utilizadas son las de Silicon Graphics debido a la gran cantidad de objetos creados y al realismo con el cual están hechos.

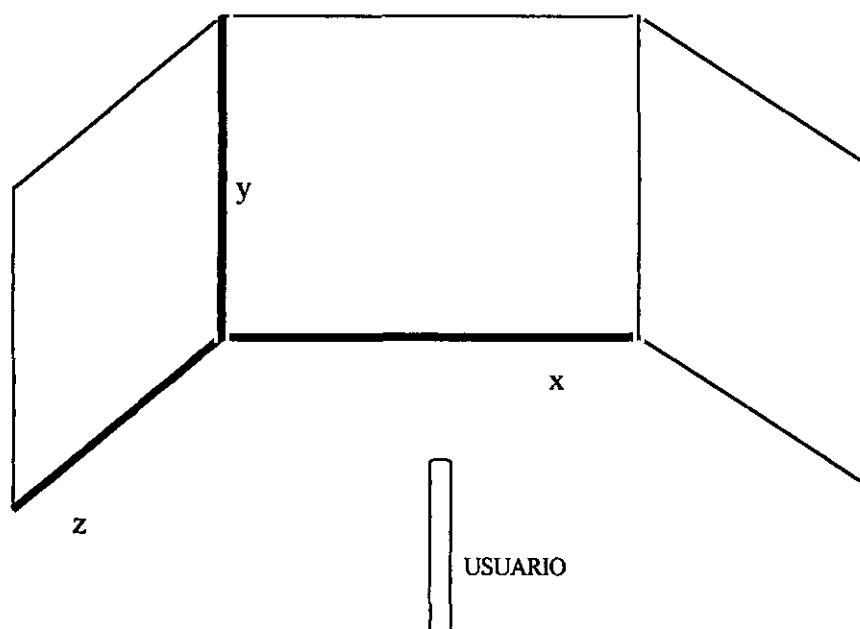
En la CAVE los ojos no tienen porqué estar horizontales y en un plano perpendicular al plano de proyección. Se producen situaciones extremas como la que se daría, por ejemplo, si el usuario mira las esquinas de la CAVE con su cabeza inclinada. Debido a circunstancias como éstas, se ha colocado el sensor de las gafas entre los dos ojos.

Obteniendo el valor que nos proporciona acerca de su posición y dando por sentado que la distancia interpupilar -es decir, entre las dos pupilas- es de 2.75", se puede determinar la posición de cada ojo y su orientación con respecto a cada uno de los muros.

La posición del usuario se define por tres puntos en el espacio, dependiendo de donde tomemos los ejes del espacio. En el ejemplo del gráfico los ejes están situados respecto a la pared izquierda, por lo que el usuario se encontraría en los siguientes puntos respecto a cada pared, tal como podemos apreciar en la página siguiente.

Si los ejes se marcaran en relación a la pared derecha los parámetros de definición cambiarían según los ejes, siendo el más influido el eje de las x.

La visión en estéreo es algo fundamental en Realidad Virtual. El sistema CAVE debe conseguirla de una forma un tanto distinta que el modo como se consigue con el casco estereoscópico ya que las imágenes son proyecciones y no se puede crear la alternancia de imágenes en los monitores LCD, sino que hay que obtenerla en las paredes de la cueva.



PARED IZQUIERDA: (e_z, e_y, e_x)

PARED DERECHA: $(-e_z, e_y, e_x)$

PARED DEL SUELO: $(e_z, -e_y, e_x)$

Carolina Cruz-Neira encuadra los aspectos que tiene en cuenta para conseguir la visión en estéreo en ocho puntos.

La convergencia es el primero de ellos. Se parte de la idea que para llegar a conseguir una visión en estéreo en la CAVE, hay que representar dos proyecciones estéreo off-axis por pantalla, una por cada ojo. Se obtiene la información del tracker o sensor de las gafas para así obtener la posición exacta de cada ojo, y se asume que el centro de rotación de cada ojo está lo suficientemente cerca del punto nodal (punto de proyección) del ojo como para no introducir errores significativos. Así, como ocurre con otros sistemas de Realidad Virtual, donde los ojos están mirando no entra en los cálculos.

Para conseguir una imagen diferente para cada ojo, usaron el *frame secuencial en estéreo con gafas obturadoras sincronizadas*. Este sería el segundo de los ocho puntos citados por Carolina Cruz-Neira, y lo que tienen de especial las gafas es que los transmisores de infrarrojos provocan que las lentes permanezcan transparentes para las 512 líneas adecuadas a la mejor recepción de imagen. En realidad hay más líneas, siendo el computo global de 1280*1024 píxeles por imagen en pantalla, obturando durante el retardo del impulso vertical. Se producen 120 campos por segundo a 60Hz, lo que supone una imagen sin parpadeo ya que con esta frecuencia de creación de imágenes se evitan efectos no deseados como el *aliasing temporal*, o retardo de una imagen con respecto a la del otro ojo.

No obstante, observaron que el tubo verde tenía una gran persistencia. Esto producía la pérdida del efecto de tridimensionalidad ya que la misma imagen se veía por los dos ojos. Hicieron experimentos con tubos azules y rojos y sombras de magenta, lo cual les dio buen resultado. Actualmente usan *tubos P43* sin persistencia en el verde.

El tercer punto a solucionar fue la *corrección de la distorsión*. El HMD, BOOM y monitores de Realidad Virtual tienen distorsiones geométricas inherentes en sus ópticas. Los proyectores modernos tienen ajustes electrónicos que corrigen con suma precisión estas distorsiones geométricas.

El cuarto paso fue estudiar como *reducir la sombra de los usuarios*. La solución final fue que las tres pantallas de las paredes fueran proyectadas por detrás, por lo que los usuarios que están dentro no proyectan sombras. El suelo es más complicado, y lo que se hace es que se proyecta desde el techo a través de un espejo en vez de directamente sobre la cabeza, de forma que la sombra siempre está por detrás del usuario. La solución está en la colocación adecuada de la óptica.

El siguiente punto consistió en la sincronización al frame, es decir, perfecta, de las pantallas. Si las imágenes no estaban en el mismo frame o estaban fuera de sincronismo, la visión de las esquinas -que es donde se juntan las imágenes- daba sensación de irrealidad.

Fueron incapaces de conseguir una respuesta adecuada del sistema ONIX para sincronizar dentro de los 8mseg que se necesitaban para que la desincronización no se notara. Por este motivo se decantaron por la *memoria reflectiva*, una especie de memoria caché compartida entre todas las workstations. Esta memoria permite a los programadores en C acceder directamente a los bancos de memoria, sin necesidad de pasar por el sistema operativo. Intentaron usar la memoria reflectiva para compartir datos más complicados como texturas, polígonos y mallas.

Una atención particular se prestó a los bordes y esquinas de la pantalla para evitar la oclusión de los objetos en estéreo en la habitación. Debían hacer posible que los bordes casaran en todos sus puntos. Minimizaron las juntas extendiendo una pantalla de plástico de 10*30' sobre un cable de acero inoxidable de 1/8" sometida a tensión. Esto proporcionaba una junta de alrededor del tamaño de un pixel de ancho, con lo cual se puede decir que no existe tal junta. La ilusión de estéreo se mantenía e, incluso, en la CAVE se convertía en extremadamente poderoso para el usuario. El suelo no presentaba ningún tipo de problema al respecto.

En el caso de los gráficos 3D y pantallas de la estación de trabajo, los objetos en estéreo proyectados en la pantalla frontal (suelen ser los más interesantes) tienen que estar bastante centrados. Cuando un objeto estéreo enfrente de una pantalla golpea el borde o la esquina, a esto se le llama "*violación del frame*", colapsa la ilusión de profundidad ya que la oclusión es un punto de profundidad más fuerte que la disparidad binocular. Los bordes de la pantalla de la CAVE están prácticamente fuera de la vista e, incluso, aunque se pueden llegar a observar la parte alta de la pantalla, no deja de ser algo que afecte a la visión de objetos estereoscópicos debido a la gran proporción de la cueva.

Lo más sorprendente de este sistema es la proyección en el suelo. Un usuario puede moverse entre objetos convincentes que están siendo proyectados en la habitación y, además, pisarlos. El usuario ve de este modo enriquecida notablemente su experiencia. Además, gracias a que el tracker provee al navegante de seis grados de información la cabeza del usuario puede moverse libremente, por lo que el acto de mirar objetos se produce de una forma natural. El HMD puede proporcionar este factor pero, el BOOM es incapaz de crear esta sensación.

Había, por tanto, que dar un siguiente paso para mejorar la experiencia del estéreo. La *oclusión* es el único factor que puede distorsionarlo en la cueva, por lo que hay que tratar de minimizarlo para que se produzca las menos veces posibles.

La mano del usuario puede violar el estéreo si un objeto está entre los ojos y la mano, situación ésta bastante rara. Los cibernautas están deseosos de romper el estéreo cuando esto se convierte en algo sencillo. Para ello el usuario, tan sólo, tiene que mover su mano fuera de los límites de la cueva.

Una situación mucho más complicada de resolver se da cuando hay más gente en la

CAVE. Si alguien se mete en el camino de otro usuario y se tiene que proyectar un objeto entre los dos, el estéreo se bloquea. Esto se evita teniendo un "maestro" o "guía" que guía la navegación, dejando que el "estudiante" o "turista" consiga tener una vibrante experiencia sin que tenga la necesidad de aprender a ser un gran navegador del ciberespacio. En algunas conferencias meten hasta a doce personas al mismo tiempo en la CAVE. Como la gente tiene que pararse y moverse más o menos a la vez, esto les resulta divertido, por lo que se proporciona un mayor éxito a la aceptación del sistema CAVE por parte del público, lo cual se convierte en el último logro del equipo de Carolina Cruz-Neira, en cuanto a la visión en estéreo.

El que la gente vea su propio cuerpo o el de los demás resulta una brillante idea y, además, evita las náuseas provocadas por la enfermedad del movimiento que tantos quebraderos de cabeza causa a los que usan el casco estereoscópico. El porqué de esto no está todavía muy claro, pero el que las imágenes se generen con datos científicos que van cambiando y no con datos típicos que gestionan imágenes estandarizadas, aspecto éste que es propio de los demás sistemas, y la mejora en la generación de imágenes que evita mareos en los movimientos rápidos de cabeza, puede ser la solución final a este dilema.

El usuario se mueve dentro de la cueva. Dichas acciones han de ser controladas por un ordenador para modificar al mismo tiempo las imágenes que se estén proyectando. En realidad, hay un tiempo de retardo o latencia, entre el cambio de posición en el interior de la cueva por parte del usuario y la variación en la proyección de las paredes de la misma.

El control de la posición del usuario es algo bastante complicado. Cada sistema de Realidad Virtual tiene diferentes respuestas a los errores en la posición de tracking del usuario. Esto depende de si la proyección plana se mueve con el usuario (como ocurre con el BOOMs y el HMD) o no (en el caso del monitor y la CAVE). Una segunda razón es la diferencia en la distancia de la proyección plana a los ojos, lo cual distingue a la CAVE de los monitores.

Las pantallas que reciben esa proyección gozan de un gran potencial para los sucesivos refinamientos o mejoras en las imágenes. Nunca tendremos suficiente memoria en los ordenadores para generar modelos muy complejos y ejecutarlos en tiempo real. Las sucesivas mejoras se refieren al movimiento en el tiempo, al congelado de la imagen y su relleno, lo cual es ahora una nueva técnica en la creación de gráficos. Uno puede congelar la imagen en un HMD sin una gran desorientación. Las mejoras sucesivas son posibles en el BOOM pero, como contrapunto, el usuario no puede mirar a su alrededor. En la CAVE, uno puede navegar a un lugar en tiempo real y pedir al superordenador un detalle más conciso de la zona a través de cuatro imágenes, una por pared, y que sigan siendo imágenes en estéreo. El usuario puede permanecer en estas imágenes detalladas aunque no puede navegar dentro de ellas a causa del excelente nivel de detalle que poseen, lo que provoca la imposibilidad de generación de las mismas en tiempo real. Al mejor estéreo se llega cuando

se mira en la última posición de interactividad conseguida.

Hacer realidad virtual en el menor tiempo real posible es muy importante. Las supercomputadoras son esencialmente máquinas de fabricar puntos. Una máquina común vectorial no puede crear 1280×1024 mapas de pixeles en tiempo real, porque las conversiones están hechas por subrutinas no-vectoriales, lo que quiere decir que se hacen tres conversiones, una por cada color, motivo por el cual se está consumiendo tiempo y, todavía, no existe la posibilidad de comprar buffers de creación de puntos para hacer frames.

El deseo para transmitir una imagen de 1280×1024 pixels a 24 bits a una estación de trabajo con una velocidad de 60 imágenes por segundo requiere aproximadamente 2 gigabits de memoria RAM. Esto habría que multiplicarlo por cuatro, uno por cada pantalla. Si hiciéramos que sólo se generasen 10 imágenes por segundo, lo cual está más cercano a los estándares industriales de la realidad virtual, necesitaríamos una sexta parte al ser esa cantidad el número de imágenes por segundo, y aún así, resultaría que todavía harían falta 1,25 gigabits/segundo. Esto no resulta factible por lo que en la CAVE se transmiten listas de polígonos y mallas de puntos flotantes para así dejar que los gráficos de las workstations hagan su trabajo cuando sea posible, es decir, las bases de datos con gráficos ya prefijados se intentan utilizar lo más posible.

Naturalmente, es importante considerar de un modo más extenso la complejidad de la imagen; la ciencia básica al ser computerizada suele resultar extremadamente compleja y no responde al tiempo real. Grandes almacenes de datos precomputerizados son bastante útiles para explorar, siendo el modo de gestión a través de discos compactos de información lo que ofrece una mayor garantía. La CAVE es una fuente de investigación que está siendo usada ahora por los científicos de la Universidad de Illinois en Chicago, el Instituto de Tecnología en California y la Universidad de Minnessotta. La meta a conseguir es casar las capacidades de las supercomputadoras, la velocidad de las redes y la CAVE para las aplicaciones de la visualización científica.

Pero como todo sistema de Realidad Virtual creado hasta el momento, la CAVE tiene sus propias deficiencias. El elevado coste es uno de los principales. La cueva es grande y cara aunque, debido a la inflación, no es más cara que el sistema de simulación monousuario PDP-11/Evans&Sutherland utilizado hace 20 años por Sutherland. También, considerando que hasta 12 personas pueden compartir el espacio de la CAVE, el costo por persona es más bajo en algunas circunstancias. Las pantallas más baratas de LCD para las paredes con baja latencia que se puede poner es bastante complicado, ya que hay pocas. El deseo por afrontar este rendering con gráficos de alto nivel, es decir, bastante cuidados, no baja de los 100.000\$ dólares.

Otro problema es la incapacidad para poder proyectar en los seis lados de la CAVE, cosa que debería ocurrir ya que el objetivo último es el crear un entorno virtual totalmente

cerrado al usuario para lograr el grado de inmersión máximo.

Seis pantallas pueden hacer una CAVE mejor. Originalmente planearon hacer proyecciones traseras para el suelo y techo, lo cual habría implicado el requerimiento de que la CAVE alcanzara una estructura gigantesca. Un agujero en el techo y una gran lámina de cristal o plástico fuerte pudo haberse constituido como mejor solución, pero no habría sido fácil trasladarla a conferencias y universidades.

Actualmente, la cueva consta de tres paredes, la frontal y la de los lados, y el suelo. No obstante, una pantalla trasera para el cuarto muro puede llegar a ser posible, aunque los detalles para la entrada y salida del personal tendrían que ser estudiados en profundidad, especialmente, si se usan cables para la proyección y el control de posición de los usuarios. Los cables ocupan sitio y resultaría incómodo que los usuarios de la CAVE, especialmente si son varios, estuvieran preocupados en evitar enredarse con ellos. Con las cuatro pantallas actuales se trabaja muy bien, puesto que nos encontramos en un entorno donde mirar a los lados y hacia abajo no supone dificultad y el grado de inmersión resulta bastante satisfactorio. Los objetos que están dentro de la habitación pueden ser tocados y se puede andar alrededor de ellos.

El sistema de proyección se convirtió en uno de los problemas más acuciantes, siendo la caída de la luz sobre el suelo el más importante. Afortunadamente los muros de las paredes no son muy reflectivas, por lo que no hay una gran dispersión de rayos de luz. El suelo es, simplemente, un tablero pintado; el color utilizado se escogió mediante el distribuidor local de pintura de la computadora que duplicaba el color de la pantalla del muro como una primera aproximación, es decir, haciendo un promedio entre los colores de las otras pantallas para, después, pintar un color que no destacara sobre ninguna otra pared. El único problema que se origina se produce cuando una pantalla es más brillante que las demás debido a que el objeto de interés es el más brillante; pero esto es un caso inusual. Las pantallas muy brillantes tienden a reducir algo el contraste de la imagen. De todos modos, no hay nada como unos buenos gráficos para realzar la fuerza de la imagen. En la cueva gozan de una importancia especial para poderla utilizar a su entero potencial.

Hay que tener en cuenta que la CAVE, como el OMNIMAX, representa un paradigma visual diferente: se está "dentro pero fuera" en lugar de "dentro pero dentro". Estos dos conceptos son bastante difíciles de conceptualizar por el usuario, especialmente porque se piensa en entornos virtuales como algo que te sumerge dentro de un ordenador, aspecto éste, que se ha convertido en un factor psicológico muy determinante. Por este motivo, han sido los cascos el paradigma de visualización más generalizado y mejor aceptado por parte de los usuarios. En la CAVE, el usuario sabe perfectamente que está situado en un entorno físico que ha visto previamente, lo que le incita a pensar que no es un espacio inexistente o virtual, por lo que la simulación para la interacción se convierte en algo más complejo al faltar la previa motivación a sumergirte en un mundo virtual. Este

factor ya está conseguido de antemano por un casco estereoscópico.

Pero este principio no es de ahora. Lewis Carroll, en su libro "Los mundos de Alicia", creaba un símil de penetración en otra realidad que, en principio, solo existía en la mente de la protagonista, a través de un espejo que era atravesado por la niña y hacía de puerta al otro mundo imaginario. El sentimiento de inmersión como algo que se consigue traspasando y penetrando en terrenos acotados por nosotros, tales como marcos, puertas, paredes que se abren a otros espacios, etc., es algo propio de la cultura occidental desde sus orígenes por lo que es algo muy arraigado dentro de nosotros. En los castillos medievales las puertas se abrían a grandes fortunas escondidas en pasadizos secretos o, por lo menos, eso ha sido lo que nos han hecho creer los escritores de esa y de las demás épocas, lo que implica un hecho cultural. No es de extrañar, por tanto, que en Realidad Virtual la predisposición a la inmersión se produzca de una manera más acusada con los cascos, que es un marco cerrado y aislado del mundo, a través del cual, el misterio de otras sensaciones distintas a las reales está siempre presente, como lo estaba en las puertas de los pasadizos secretos en los castillos medievales. Hay, por tanto, una frontera claramente definida entre lo real y lo irreal, que es lo que hay que traspasar.

En la Cave tal frontera no existe ya que el mismo entorno está situado en una habitación totalmente real y no hay puerta que lo separe del resto de la realidad, para dar la clara sensación al usuario de que va a traspasar un nuevo mundo distinto al que se encuentra en ese momento. El usuario no tiene un punto claro de referencia que le haga transgredir el espacio natural que le rodea por completo y en todo momento. El entorno virtual está inmerso en el entorno real, y no hay, como en los cascos, un aislamiento total del mismo, lo que supone, por parte del usuario, un ejercicio de autoconvencimiento para traspasar la barrera de la virtualidad.

Tan frágil como la barrera entre lo real y la ilusión de irrealidad resulta la estructura de la cueva. La CAVE no es un robusto museo. Las pantallas, posicionador y gafas no están hechas a prueba de niños por lo que su uso debe estar bastante controlado por personas expertas. Este inconveniente es generalizado, también, en todos los demás sistemas. Los equipos son muy caros y los materiales de los que están hechos son muy sensibles, por lo que el manejo es muy limitado y debe estar controladísimo.

En las máquinas de Realidad Virtual diseñadas para ocio, el hardware se protege lo más posible. Los guantes táctiles son, por ahora, impensables en juegos recreativos, siendo el joystick el interface más generalizado. El casco es el paradigma con el diseño más robusto de todos los periféricos en Realidad Virtual. Los cables que le unen al ordenador central para sincronizar su posición, suelen ir bastante protegidos. Además, el cibernauta tiene un recorrido muy limitado, es decir, suele estar sentado o si está de pie en un espacio muy acotado para que la longitud del cable sea suficiente y no se produzcan tirones innecesarios que puedan llegar a estropear el sistema. En sistemas de investigación se

pretende una libertad de movimientos total, por lo que hay más peligro de entrar en conflicto con los distintos periféricos que componen el simulador de Realidad Virtual.

Históricamente, el paso de rastreadores 2D al ratón supuso un cambio espectacular. Surgieron nuevas concepciones de para que debía servir el teclado y nuevos métodos de proporcionar comandos de instrucciones al ordenador. Sin el ratón hubiera sido imposible el nacimiento de softwares tan utilizados y extendidos en el mundo entero, como es el Windows. Además, supuso una revolución en la programación: no hacía falta saber un montón de instrucciones y órdenes de tipo informático para interactuar plenamente con el ordenador, sino que con un simple toque al ratón sobre la ventana adecuada podíamos ejecutar cualquier programa. La liberalización de la informática se había conseguido. Ya no era cosa de unos pocos técnicos, sino que cualquiera podía defenderse ante un programa de ordenador.

La CAVE no ha supuesto todavía un paso de esta categoría hasta la fecha, pero está sirviendo para que este paso se planteara en la Realidad Virtual. Como ejemplo valdría poner que *Randy Hudson* ha descubierto que la mejor forma para controlar esferas es hacer un ratón en forma de esfera. La Realidad Virtual se basa en la interacción usuario-máquina. En el mundo real estamos continuamente inventando instrumentos que nos hagan más fácil la interacción con ese mundo. Atravesamos grandes distancias en aviones, comemos con cucharas y bebemos en vasos, si no vemos bien nos hacemos unas gafas o unas lentillas, etc. Todos estos artilugios hacen posible que la relación con nuestro entorno mejore de forma sorprendente. En los mundos virtuales hay que conseguir lo mismo. Los paradigmas de control de dicho mundo deben ser lo más adecuados posible para conseguir que la afinidad con el ciberespacio sea lo más cómoda y agradable posible. En esto se hayan investigando muchísimos creadores de mundos artificiales, ya que la relación con dichos mundos, hasta ahora, no es la más adecuada posible para las necesidades reales.

Una deficiencia importante de la cueva es el sonido direccional. En teoría, habiendo "hablantes" en todas las esquinas, uno debería ser capaz de llegar a alcanzar la direccionalidad plena según la síntesis del sonido, es decir, saber perfectamente de donde viene el sonido, al igual que nosotros sabemos de donde procede el sonido en una habitación con varias personas dentro. En la práctica esto no se consigue por las reflexiones del sonido en las pantallas. Este problema es bastante difícil de evitar, lo cual es un inconveniente para un sistema en el que uno de sus principales objetivos es la interacción de varios usuarios, que realizan trabajos de investigación en conjunto, dentro de la misma CAVE. Sabemos que el campo visual está cubierto, ya que el usuario se encuentra en el interior de un cubo cuyas paredes son pantallas, por lo que la inmersión es plena. El tener este problema en el sonido puede rebajar un tanto la calidad final, ya que la inmersión total en un mundo virtual tampoco se lograría al cien por cien con este sistema.

Hemos tratado las deficiencias de la CAVE, pero hay alguna de ellas que se pueden

llegar a convertir en un beneficio notable para la misma. La grandiosidad de la CAVE es perjudicial para trasladarla de un sitio a otro, pero resulta muy efectista para ser fotografiada para catálogos y así impresionar a nuevos usuarios y clientes. En el mundo de mercado en el que nos movemos actualmente resulta beneficioso intentar vender un producto en el que el efectismo para la publicidad lo proporcione el mismo producto.

Actualmente, además, han llegado las *NEW CAVES* que es una gran máquina para la generación de todos los canales o, lo que es lo mismo, es una ONIX con dos Reality Engine II, que mejoran la calidad y la latencia en la generación de gráficos.

Esto no hace más que corroborar que la CAVE se está convirtiendo en un efectivo y convincente paradigma de Realidad Virtual que ensancha las aplicaciones e incrementa la calidad de la experiencia virtual.

Los logros que se han obtenido con la CAVE son bastante notables. Hechos como la creación de un gran ángulo de visión, o una alta resolución (HDTV a dos veces HDTV) de imágenes en color, es decir, alta definición de televisión multiplicada por dos, son de una gran trascendencia.

Pero existen otras metas que se han conseguido, tales como el permitir un formato de presentación multiusuario que se ha convertido en el gran logro de la CAVE. Los avances en este punto van a ser muy tomados en cuenta, puesto que la posibilidad de que varios científicos o, varios alumnos con su profesor, interactúen al mismo tiempo en el mismo entorno abre bastante las puertas a lo que pueden llegar a ser los mundos artificiales en el ámbito científico y en el de la educación, que debiera ser el fin último de la Realidad Virtual.

Además, las pantallas de proyección y la calidad de las correcciones geométricas disponibles en los proyectores, permiten la presentación de imágenes 3D en estéreo con una muy baja distorsión con respecto a los sistemas de Realidad Virtual basados en monitor, el HMD o el BOOM. Por otro lado, las gafas son de poco peso y los cables que unen la cabeza y las manos con el posicionador son muy delgados. El usuario será capaz de permanecer más tiempo sin cansarse interactuando en la CAVE, por lo que el científico no verá limitada sus horas de trabajo por el cansancio acumulado que le proporciona el casco estereoscópico.

El tipo de proyección que se da en la cueva es algo característico de la misma. Es un tipo de proyección totalmente plana en las paredes que en ningún momento se rompe con el usuario. La tridimensionalidad de las imágenes se consigue a través de las gafas que mediante un proceso de obturación genera dicha sensación. Además, en ningún momento se rompe la proyección dentro de la CAVE. Con sistemas de visualización como el casco estereoscópico o el BOOM, si no se está mirando a un determinado punto del espacio el ordenador no te está generando dicho espacio. Sólo cuando empiezas a mirar a dicho punto es cuando se empiezan a generar imágenes. Esto puede provocar errores, puesto que el

ordenador tiene un determinado tiempo de latencia, es decir, transcurre un tiempo entre que se da la orden de generar la imagen, o sea, cuando mueves la cabeza hacia un determinado punto, y la genera. La sensación de instantaneidad que se suele necesitar en la realidad ya está perdida. Disminuye, por tanto, el grado de realismo.

La CAVE, al no dejar de proyectar en ningún momento, no sufre este retardo de una forma tan acusada o, por lo menos, es menos visible. Se reduce, en consecuencia, el error de sensibilidad, puesto que no se pierden datos en el transporte de la señal, cosa que continuamente ocurre en el BOOM y en el HMD.

El usuario está rodeado totalmente del espacio virtual y, tan sólo, si quiere navegar o adentrarse en una determinada zona de dicho espacio, es cuando éste cambiará. Es un mundo que te rodea y que no necesita autogenerarse a cada instante, sino que continuamente está generado en toda su plenitud. El universo espacial de la cueva es, por tanto, un espacio terriblemente acotado y sujeto a pocas modificaciones. Por contra, la sensación de estar plenamente rodeado de espacio gana en realismo. Con el HMD y el BOOM miras a un espacio a través de una ventana totalmente acotada por el programador. La cueva está orientada hacia la visualización científica por lo que cuanto mayor sea el grado de realismo, más eficaz será para el científico.

Esta característica unida a que el desarrollo es constante y que es un sistema que permite plenamente la compatibilidad entre lo existente y las mejoras sucesivas, por lo que el que adquiere una CAVE puede mejorarla continuamente sin miedo a tener algún tipo de incompatibilidad.

En SIGGRAPH'92 y SUPERCOMPUTING'92, más de una docena de científicos, en campos tan diversos como la neurología, astrofísica, superconductividad, dinámica molecular, dinámica de fluidos y medicina, mostraron el potencial de la CAVE tanto para la enseñanza como para la investigación. Ahora hay proyectos para trabajar en la CAVE con geometría no-Euclídea, cosmología, meteorología y procesados paralelos. La CAVE se está convirtiendo en una herramienta bastante útil para la visualización científica, que se está intentando desarrollar a partir de las necesidades reales de los científicos en las distintas materias, ya que cada disciplina necesita de unas determinadas condiciones para el estudio de su materia.

El equipo de Carolina Cruz-Neira invitó a científicos de distintas disciplinas a que visualizaran los datos de sus investigaciones en la CAVE. Así, tanto los científicos como los creadores de la CAVE podrían ver los resultados en situaciones reales. Este experimento dio como resultado el origen de distintas aplicaciones. Algunas de ellas serán explicadas a continuación.

Una de las primeras aplicaciones que surgieron en este proyecto fue la de un *paseo a través de un edificio*. No es de extrañar, ya que esta aplicación ha sido una de las más utilizadas en Realidad Virtual. Lo primero que hicieron fue trasladar los modelos

arquitectónicos, que estaban en formato DXF, a la geometría y características diferentes de la cueva. Construyeron una casa con sus habitaciones por las que poder pasear y una reconstrucción de la parte baja de la ciudad de Chicago. Los usuarios podían andar o moverse físicamente por la cueva mediante un joystick para las grandes distancias. Se podían modificar los objetos integrantes del sistema, los cuales eran seleccionados mediante una especie de rayo que manipulaba el propio usuario. Con este rayo también se marcaba el destino para los grandes vuelos de exploración por el propio entorno.

La cueva proporciona al usuario en aplicaciones arquitectónicas, la posibilidad de integración plena en el entorno. Con el casco estereoscópico el usuario sólo puede ver, pero en la cueva todo su cuerpo está inmerso en un entorno por lo que se puede comprobar perfectamente la integración del usuario con el espacio virtual. Esta característica es fundamental para poder probar la ergonomía de un diseño arquitectónico, lo cual es una de las mayores áreas de investigación. La CAVE, por tanto, ofrece una gran oportunidad para experimentar técnicas de navegación en largas distancias. Gracias a los muros que rodean el espacio, el usuario tiene una clara referencia de los límites del mundo virtual. Esto provoca una reducción en la desorientación que provoca el cambiar rápidamente de punto en la localización del espacio virtual.

Otra aplicación desarrollada en la cueva es la *exploración cósmica*, en la que se visualiza los estados de la evolución del Universo. En este entorno, cada galaxia es representada como un punto cuyo color simboliza la edad de una galaxia. El hecho de que sean puntos es debido a que es más rápido de representar por el ordenador al no manejar tantos datos, y es más intuitivo para el usuario, que si fueran polígonos texturados, tetraedros, etc. La animación empieza con la explosión del Big Bang y el cibernauta puede navegar por cualquier parte de la galaxia y en cualquier parte del tiempo. Es, por tanto, una buena aplicación para investigar grandes datos modificables tanto en la inmensidad del tiempo como en la inmensidad del espacio. Estos dos parámetros totalmente abstractos se pueden manipular de una forma física. Además, la vista panorámica que aporta la cueva es una referencia excepcional para contemplar la grandiosidad del Universo.

Una nueva aplicación consistió en el *explorador de fractales*, en el que el usuario puede contemplar como son y como son hechos los fractales. Además, es posible manipular las ecuaciones que los generan para llegar a descubrir que causas implican cambios en su estructura. Con un guante que lleva asociado una cinta con una determinada longitud en el espacio virtual. Según nos vamos moviendo dibujamos una serie de líneas en el espacio virtual cuya orientación viene determinada por dos trayectorias vecinas, mientras que la localización está definida por las distintas posiciones del guante en el espacio. Es una manera muy intuitiva de crear fractales y, sobre todo, de experimentar la sensación de tridimensionalidad y de inmersión. No obstante, la disparidad es muy grande cuando los objetos se encuentran próximos al usuario a menos que, dichos objetos, se mantengan

pequeños. El usuario puede manipular dichos objetos pequeños de una forma bastante cómoda. Se podría construir, por ejemplo, un microscopio o un telescopio virtual, si no fuera porque las posibilidades de los interfaces de control actuales son bastante limitados.

Si continuamos con ejemplos, hay que citar el que se llevó a cabo para conocer el *mapa cognocitivo del cerebro*. Se utilizaron 21 electrodos para medir los distintos potenciales de voltaje del cerebro sometido a una actividad previamente diseñada. De este modo se averiguó la actividad cerebral. Se iban grabando los resultados que se iban produciendo con un intervalo de diez milisegundos. El rango de cada resultado se iba transformado en un gráfico de colores, que se situaban en un modelo de cerebro en el que se iban interpolando las gradaciones de color. Así se podía visualizar de un modo sencillo, las áreas de incremento o decremento, las zonas estáticas o con actividad del cerebro. Todos estos datos se iban visualizando en tiempo real, por lo que los científicos tenían una idea clara de como iba funcionando el cerebro con las distintas aplicaciones.

Un aspecto útil de esta aplicación era que los diferentes electrodos estaban asignados a distintos instrumentos musicales, en los que se producían sonidos cuyo tono dependía de los niveles de voltaje. La composición musical era bastante complicada, pero se comprobó que el cerebro era capaz de discernir los diferentes tonos musicales. Las futuras experiencias en este modelo van encaminadas a explorar partes más complejas del cerebro, tales como la corteza visual, y la toma de datos más precisos en experimentos con base estímulo-respuesta.

Siguiendo con aplicaciones destinadas al estudio del cerebro, se creó un *modelado real de dos células neuronales del cerebro* en las que se producía una interacción entre ellas o podíamos intervenir desde fuera. El modelado de figuras es algo que se emplea mucho en investigación, porque es una buena forma de comprender mejor los resultados que vamos obteniendo, y así, evitar el generar una cantidad masiva de datos sin conexión entre ellos. Con la cueva se dio un paso más: el poder interactuar de una forma real con los datos registrados en el computador. Dos laboratorios distintos crearon dos neuronas distintas en lugares diferentes de Estados Unidos. Fueron unidos vía red e interactuaron juntas. Los científicos podían manipular, mediante un guante de datos, las partes de las neuronas y los resultados eran conocidos, a la vez y en tiempo real, en ambos laboratorios. Además, el hecho de poder andar dentro de las estructuras neuronales permitió el poder comprenderlas mejor.

Pero no sólo se ha estudiado el cerebro con relación al cuerpo humano. Otro experimento importante fue el de la *visualización de la dinámica molecular del cáncer*, en relación al estudio del comportamiento del p21, una proteína que regula el crecimiento de las células en su interacción con las GTP (trifosfato guanósina). El estudio de esta proteína es particularmente relevante ya que los cambios en su estructura molecular puede dar a un crecimiento incontrolado de las células y, por lo tanto, al cáncer. El modelado se

hizo por medio de tetraedros ya que así se economizaba para dar prioridad a la generación de gráficos. El usuario podía modificar a su gusto la relación de esta proteína con su entorno. Para llegar a un estudio más profundo había la posibilidad de incrementar el nivel de detalle cuando fuese requerido. El sonido se utilizó para identificar el estado de las moléculas.

Los resultados de esta experiencia fueron tan satisfactorios, tanto para el equipo diseñador de la CAVE como para los científicos que, actualmente, se está trabajando en un desarrollo más rápido, que genere datos en tiempo real, y en el que varios científicos puedan llegar a compartir el mismo espacio desde laboratorios en distintas partes de Estados Unidos.

En torno a la biología se realizó la visualización en torno a la dinámica molecular de *las proteínas en la membrana y los lazos o conexiones en las proteínas receptoras*. Se trató de aplicar al estudio de la macromolécula del cólera. Colaboraron en el proyecto junto a Edwin Westbrook, uno de los pioneros en conocer la estructura de la toxina y su dinámica. Lo que todavía no se conoce es como la toxina del cólera invade la membrana externa de una célula sana.

Este proyecto usa la CAVE como una herramienta de visualización para describir una teoría de como la toxina del cólera transporta una proteína intacta a través de la membrana externa de una célula, con lo cual se intoxica la célula. La toxina del cólera es representada como una especie de donuts de color amarillo y la célula receptora es de color rojo. Se reproduce todo el sistema de infección tal como lo conocen los científicos, pero con la CAVE el usuario puede andar sobre el punto de unión, por ejemplo, de la toxina con la membrana y examinarlo. Se podrá apreciar de una forma visual bastante clara, con los datos que se tienen, como se une la toxina a la célula y como penetra en ella.

Pero no sólo destacan las aplicaciones arquitectónicas, matemáticas, computacionales y médico-biológicas, sino que se puede utilizar la CAVE en otro tipo de estudios como *escala meteorológica regional*, por ejemplo. En este caso se estudiaba la climatología de la región oeste de Norteamérica. Se van actualizando los datos según se van recibiendo de los satélites y de los centros meteorológicos, para que en la cueva los usuarios puedan comprobar las evoluciones del mismo sumergidos en el propio tiempo. Además, se pueden ampliar o tener más datos de las zonas en concreto que se deseen, por lo que el meteorólogo puede andar miles y miles de kilómetros con sólo dar dos pasos en la cueva. El gran problema que tiene esta aplicación es la gran cantidad de datos para su manipulación. Se necesitan alrededor de 200 Mbytes para que toda esta aplicación trabaje de modo que se puedan utilizar todos los parámetros que soliciten los usuarios.

Hasta aquí una serie de ejemplos reales de utilización de la CAVE en aplicaciones que, sorprendentemente, no tienen nada que ver con el ocio y mucho con la ciencia. La cueva es el sistema de visualización de realidad virtual que más se ha comprometido con el

mundo de la ciencia. No olvidemos que la mayor parte de la investigación en realidad virtual es concedido por empresas informáticas dedicadas al entretenimiento. No obstante, la CAVE no ha escapado a este mundo y también ha entregado su estructura a la diversión. En el IMAGINA'95 se presentó un juego virtual cuya estructura era una cueva.

La más importante de las conclusiones que se pueden resaltar sobre este sistema es que el usuario está dentro de los datos y navega dentro de ellos, por lo que el se crea un sentimiento fuerte de inmersión y participación en el entorno.

Pero todavía existen graves problemas. Uno de ellos fue la necesidad de memoria debido a la gran cantidad de datos que debían ser visualizados al mismo tiempo. Las aplicaciones científicas tienden a generar una gran cantidad de datos, muchos de los cuales no son necesarios para la visualización. La CAVE puede llegar a educar a los investigadores a filtrar más los datos, aunque la primera solución sea la de ampliar el tamaño de la memoria o rediseñar las diversas aplicaciones para permitir itinerarios a través de subsistemas de datos.

Todo esto debe ser computerizado en tiempo real, por lo que se complica la situación. Una posible solución es la de delegar proceso de datos a ordenadores externos para que, posteriormente, mediante redes rápidas vuelvan los datos procesados a la cueva.

Una cuestión clara es que los esfuerzos para conseguir mayores ventajas en la CAVE, pasa por el desarrollo de las redes de alta velocidad y las supercomputadoras. También es importante las mejoras en los interfaces del usuario. El WAND es una especie de ratón para controlar funciones dentro del sistema como, pueda ser, el agarrar los distintos objetos. Pero en un sistema tan complejo como éste hay que desarrollar otro tipo de medios -plataformas de control del movimiento y otros utensilios táctiles- para interactuar con la máquina de un modo vital, comprensible fácilmente para el ser humano. Incluso, investigar un sistema de interface basado en rutinas para que el usuario sea capaz de construir más aplicaciones interactivas.

Simplificar el diseño de la CAVE para que pueda ser utilizada en un mayor número de lugares, es otro de los objetivos primordiales que se tiene marcado el equipo de Carolina Cruz-Neira. Si se logra que las dimensiones de la cueva se reduzcan y no se pierde calidad en el sentido de inmersión del actual, se pueden llegar a planificar un gran número de nuevos experimentos que se puedan hacer con este sistema. Esto implica el abrir la CAVE a un mayor número de ciencias.

Afirma Carolina Cruz-Neira que se basó en el mito de la caverna de Platón para dar nombre a su sistema de visualización de realidad virtual. En este mito se planteaba el que unos hombres, atados de pies y manos, se encontraban dentro de una caverna en la que sólo podían mirar hacia la pared de la misma. Detrás de ellos arde una hoguera que reflejan las sombras sobre la pared de las figuras que pasan por delante de ella. Estos hombres han estado sentados en la misma posición desde el día que nacieron, por lo que creen que las

sombras son lo único que existen. Ese "teatro de sombras" es lo que Carolina compara a su "teatro de realidad virtual". En las paredes de la CAVE tan sólo se proyectan las sombras, estas en color y con una definición mayor, de las imágenes que se crean en tiempo real dentro de un ordenador.

La realidad virtual puede ser, quizás, las sombras en la pared de la caverna de Platón, reflejadas por la realidad cotidiana. El hecho de que no sea el libre albedrío del fuego el que las crea, sino que estén sujetas a la propia creación humana es un logro que, incluso, Platón hubiera tardado en comprender.

La CAVE, sería la cueva del mito en la que nos estamos sumergiendo, eso sí, a propia voluntad y como principio de desarrollo humano.

8.7. DOMOS

El DOMO consiste en una proyección convencional sobre una pantalla que cubre todo el campo visual.

No es un sistema de realidad virtual puro ya que todo está precalculado. Se podría decir que es similar al cine, en la que se tienen grabadas las imágenes sobre una película para, posteriormente, ser proyectadas sobre una pantalla. En el caso de los DOMOS la proyección tiene que cubrir todo el campo visual del usuario y los gráficos han de ser de una altísima resolución. Cuando estas dos características no son conseguidas, lo cual suele ser frecuente, el sistema carece de la necesaria inmersión de toda aplicación de realidad virtual.

La virtud de este tipo de paradigma es que no dependes de un casco, sino que un mismo espacio virtual puede ser compartido por varias personas.

Jeffrey Shaw, uno de los grandes desarrolladores de realidad virtual, creó un proyecto llamado EVE basado en este paradigma. En el DOMO, cuya pantalla, de 9 metros de alto por 12 de ancho, hay dos vídeo proyectores basados en LCD, que proyectan imágenes de 300cm. de ancho. Los usuarios usan gafas polarizadas para poder ver la estereoscopia y hay un usuario guía que marca, ya que lleva el sensor puesto sobre la cabeza, el devenir de las imágenes. Los usuarios también son dotados de un joystick para marcar el avance o retroceso dentro del mundo virtual.

Este paradigma es, junto a la CAVE, el mejor medio de hacer visualizaciones científicas compartidas. Hay un mismo espacio de investigación para varios científicos, lo cual facilita bastante el trabajo.

La conclusión más importante a la que se llega es que cada aplicación se debe valer

del mejor paradigma de visualización de realidad virtual, para poder llegar a los mejores resultados.

Capítulo 9.

APLICACIONES

La realidad virtual es un interfaz de comunicación que el hombre utiliza con el ordenador. Pero, ¿porqué es necesario desarrollar una tecnología tan complicada para interaccionar con un ordenador? La respuesta a esta pregunta radica en las posibilidades que tienen los ordenadores para simular entornos en los que desarrollar aplicaciones para, posteriormente, aplicarlos a la realidad.

El diseño asistido por ordenador (CAD) supuso una revolución notable en el modo y la rapidez con el que los ingenieros pudieron crear planos y prototipos. El ordenador, debido a su capacidad de cálculo y disponibilidad para trabajar como entorno gráfico, se convirtió en la mejor herramienta para llevar a cabo esta aplicación.

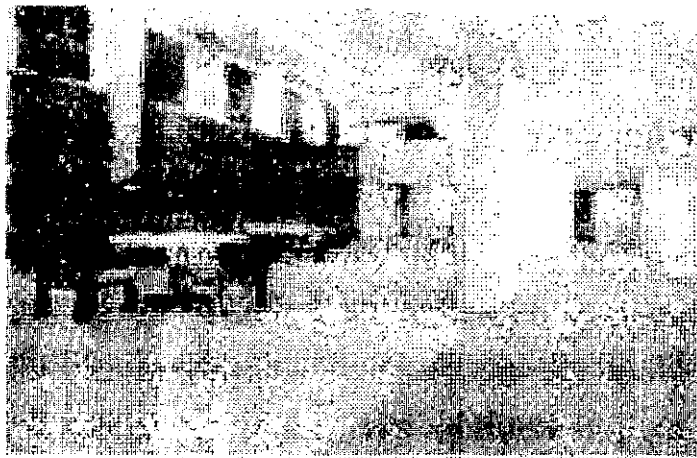
Sin embargo, los clientes eran incapaces de imaginarse el proyecto que veían en la pantalla del ordenador, porque era un plano bidimensional. Además, la posibilidad de comprobar las perspectivas o la situación de los objetos que componen el espacio no se producía en este entorno visual de dos dimensiones y no interactivo.

Los informáticos se dieron cuenta de que si aplicaban la realidad virtual al diseño arquitectónico, tanto los arquitectos como los clientes, podrían visualizar el producto completo sin necesidad de construirlo. La revolución social de la realidad virtual empezó a partir de esta aplicación, puesto que se aplicaba a un aspecto comercial en el que la necesidad de ver acabado el producto antes de su compra se hacía, en muchas ocasiones, necesario. La realidad virtual se ha convertido en la mejor herramienta con la que explorar, analizar, crear y manipular todo tipo de proyectos de diseño. Además, al poder interactuar con el producto antes de su realización, se puede mejorar hasta límites insospechados y aumentar la creatividad en torno al diseño.

El incremento de clientes que demandan por productos que sean mejores, más seguros y menos caros, significa que los diseños deben cumplir las normas de calidad más estrictas y realizarse en el menor tiempo posible. La realidad virtual se ha aplicado al programa CAD para conseguir esto, ya que los clientes ven antes el producto y se comprueba instantáneamente que cumple las normas de calidad. Esto reduce los costos y, por tanto, aumentan las posibilidades de hacer diseños más innovadores.

Antes de empezar cualquier edificación urbanística, los edificios pueden haber sido

minuciosamente explorados a través de modelos en lo que se ha dado en denominar como paseos arquitectónicos. Los informáticos de la Universidad de Carolina del Norte (UNC) han desarrollado un sistema de paseo arquitectónico que consiste en una cinta continua con un manillar. De este forma, podemos tener la sensación física de que estamos andando dentro del edificio a la vez que, moviendo la cabeza y gracias al casco estereoscópico, podemos contemplar cualquier punto del entorno en el que nos movemos. De igual modo, si queremos doblar una esquina del edificio, tan sólo hay que doblar el manillar en esa dirección. Esta forma de visualización se convierte en un modo bastante intuitivo y natural de experimentar el futuro entorno en el que vamos a vivir o desarrollar nuestras actividades laborales teniendo, incluso, la posibilidad de evitar cualquier inconveniencia que el edificio real se convertiría en algo difícil de rectificar. Por otra parte, el mantenimiento del edificio real se puede realizar a través de



El modelo virtual y el modelo acabado

programas de realidad virtual que ayuden a detectar y solucionar la avería en menor

tiempo.

Otra aplicación arquitectónica de la realidad virtual que ha obtenido un éxito notable, es la desarrollada por la empresa japonesa de cocinas Matsushita. Los clientes entregaban los planos de su cocina y se diseñaba una virtual atendiendo a dichos planos. Después, se iban introduciendo los muebles que estos clientes iban eligiendo y, mediante un guante de datos y un casco estereoscópico, podían pasear por la cocina virtual y colocarlos a su gusto y conveniencia, además de poder cambiar los colores, muebles y otros utensilios en tiempo real. De esta forma, los clientes sabían perfectamente como iba a ser la cocina que se iba a instalar en su casa puesto que, virtualmente, ya la habían usado.

Las posibilidades de aplicar la realidad virtual a la acústica de salas de conciertos se ha convertido en una herramienta fundamental, a la hora de diseñar estas salas. La utilización de materiales en las paredes que absorban más o menos el sonido, la disposición de las estructuras para conseguir una mejor sonorización o la disposición de los asientos para que cualquier espectador tenga una perfecta audición, son factores que los informáticos del Ames Research Center tuvieron en cuenta para diseñar un programa virtual para diseño de salas de conciertos. Con este programa se puede simular todas estas consideraciones, además de poder simular posibles audiciones atendiendo a hechos como si la sala está llena o vacía, si el concierto es de música clásica o de rock, o lo que ocurre si colocamos reflectores de sonido en el techo. Los resultados de todas estas combinaciones proporcionan los planos para construir un edificio lo más adecuado a los requerimientos del arquitecto.

Lo más avanzado en aplicaciones de diseño arquitectónico son proyectos, como el del ArtCom de Monika Fleischmann, en el que se está intentando reconstruir virtualmente la ciudad de Berlín Este. La cantidad de información que se maneja es importantísima, lo que eleva sustancialmente los costos del proyecto, pero los beneficios sociales son notables puesto que se puede adecuar la remodelación de las ciudades para que sean más útiles a la vida humana que en ellas se va a desarrollar.

La aplicación de la tecnología informática al diseño se extendió hacia otros usos industriales. El diseño de aeronaves fue la otra gran prueba de fuego de aplicación de la realidad virtual. La industria aeronáutica está continuamente investigando nuevas formas para mejorar la operatividad y seguridad de sus aviones. La necesidad de construir modelos físicos para experimentar mejores soluciones, con el consecuente aumento en el presupuesto, fue reemplazado por modelos virtuales en los que los investigadores aplicaban sus teorías de forma instantánea. De este modo, se fueron rebajando los costes económicos en los estudios de investigación y se han acelerado los desarrollos en materia aeronáutica al contar con la posibilidad de interaccionar en tiempo real con los prototipos virtuales. Las mejoras se han

plasmado en un mejor acondicionamiento de la cabina de los pilotos, puesto que podían ser ellos mismos los que diseñaran la colocación de los instrumentos de navegación para hacer *más confortable su lugar de trabajo*; otra mejora sustancial es el ahorro de combustible mediante el diseño de formas que hacen penetrar mejor a los aviones en las inevitables corrientes de aire. Todas estas mejoras se simulan en los ordenadores y los datos positivos que se van consiguiendo, se aplican directamente a la construcción de los aviones.

La industria armamentística y militar es la principal fuente de desarrollo tecnológico. La realidad virtual tuvo su origen en la necesidad de entrenar a los pilotos para manejar los sofisticados y caros aviones de guerra. La construcción de cabinas de pilotaje donde se simulaban las cabinas de los cazas, además de objetivos reales mediante la introducción en el sistema virtual de paisajes reales fotografiados por satélites, hizo ahorrar mucho dinero, tanto para entrenar a los jóvenes pilotos como para ahorrar vidas humanas en las operaciones de guerra que se desarrollan en terreno real. Estas cabinas de simulación son, hasta nuestros días, el más avanzado uso de la realidad virtual en aplicaciones reales.

La NASA junto al Ministerio de Defensa americano han creado distintos proyectos que, con posterioridad, han sido aplicados a la guerra real. El proyecto Simnet se ha convertido en el proyecto más avanzado, en cuanto aplicación de realidad virtual se refiere. Es una guerra virtual entre muchos usuarios, en la que puede llegar a haber hasta 200 simuladores de tanques, es decir, 200 personas interactuando manejando su propio tanque. Además, recibirían órdenes continuamente del alto mando - como en las batallas reales- y estarían apoyados por helicópteros, que también son manejados por usuarios. Este proyecto se ha convertido en el mayor ciberespacio interactivo hasta la actualidad.

Otro proyecto fue la supercabina, desarrollado en la base aérea de Wright-Patterson. Consiste en tener aislado del espacio real a un piloto para que reciba, del ordenador central, toda la información. El piloto aprende a manejar el avión en esta supercabina y conocería todas las posibilidades con las que se podría encontrar en una situación real. Los pilotos usan el Head Up Display, que es un casco que permite ver, en el mismo visor, imagen real e imagen virtual, tal como ocurre en los cascos de los pilotos en cazas reales.

El sector industrial que más ha invertido en realidad virtual, después de los ministerios de defensa, ha sido el del entretenimiento. Los videojuegos se han convertido en la aplicación con los mayores rendimientos económicos del mercado de las aplicaciones virtuales.

Las primeras aplicaciones eran bastante toscas pero fueron acogidas con una reacción muy favorable por parte del público. Estos primeros juegos virtuales eran, por ejemplo, un frontón virtual en el que, gracias a un casco visualizador y una raqueta real a la que se le ha colocado un sensor Polhemus, se podía jugar un partido de frontón contra una pared virtual.

Otra de las primeras aplicaciones fue combinar una bicicleta estática con un sistema de realidad virtual. Montar en una bicicleta estática puede resultar bastante aburrido pero si, a través de un casco visualizador, simulamos que estamos paseando por un paisaje de montaña en el que podemos oír todos los bellos sonidos de la naturaleza, la experiencia puede resultar bastante gratificante. Los investigadores de la UNC consiguieron, además, simular la resistencia de la bicicleta al subir una pendiente, por lo que la experiencia virtual de montar en bicicleta está casi totalmente conseguida.

La empresa británica W Industries ha desarrollado el sistema Virtuality, que pasa por ser el más utilizado en los salones recreativos. El Virtuality ha sido el mejor medio para difundir las posibilidades de la realidad virtual entre toda clase de públicos y, posiblemente, la ha dado a conocer entre muchos de ellos. La empresa W Industries creó dos versiones del juego, una en la que jugabas de pie y otra sentado. En la primera, tienes un anillo de seguridad que te rodea para poder colocar los cables y no te molesten mientras juegas. Además, este anillo sirve para que no te salgas de la plataforma donde se juega y te puedas agarrar si pierdes la orientación mientras estás en el juego. La segunda versión consiste en una carrera de coches en la que existen distintos enemigos que intentan evitar que ganes la carrera. El jugador debe sentarse en una especie de coche en la que te colocas el casco por el que ves la carrera y, a través de un volante situado en la plataforma, conduces tu coche. Estas dos máquinas no utilizan de guantes de datos y los cables están debidamente protegidos, puesto que una de las características de los juegos de salón es que deben ser robustos para aguantar el continuo cambio de manos. Estos juegos permiten la posibilidad de que varios jugadores jueguen al mismo juego, siempre y cuando, haya varias máquinas de éstas situadas en red.

El mercado de los videojuegos se ha convertido en el principal motor revulsivo, en manos privadas, para desarrollar mejoras en los entornos virtuales.

La realidad virtual aplicada al entretenimiento puede producirse en cualquier otro aspecto. Se puede aplicar a la música creando, por ejemplo, escenarios virtuales en el que el usuario toca un instrumento musical virtual y se convierte en una estrella de rock del ciberespacio. También, el mundo de los deportes está en boga de las aplicaciones virtuales, simulando toda clase de deportes en la que el usuario vuelve a ser el eje central del juego.

Por otra parte, en el mundo del teatro se pueden simular experiencias virtuales en la que varios cibernautas creen una obra virtual en la que ellos mismos hagan de actores o de directores de la misma. Los estudios MCA/Universal junto a VPL están elaborando dicho proyecto.

Dentro del campo del entretenimiento, unido a la cultura, una de las aplicaciones más avanzadas es el de la visita a museos virtuales. De esta forma, los usuarios pueden navegar por

el interior de un museo reconstruido virtualmente y, de una forma amena e interactiva, conocer la historia de los cuadros allí expuestos. En este mismo sentido, existen planetarios, centros científicos, etc., que ya han sido trasladados al ciberespacio.

La televisión entra en el mundo de las aplicaciones de la realidad virtual, de mano de las redes de comunicación empleadas por el mercado interactivo. Los diseñadores de las cadenas necesitan de objetos para confeccionar sus cabeceras. Existen mercados virtuales donde los productos que se venden son diseños u objetos que, el comprador puede adquirir y utilizarlo en sus diseños.

Otra aplicación importante de la realidad virtual se está produciendo en el campo de la medicina. La radioterapia consiste en dirigir haces de radiación hacia el tumor para su destrucción, atravesando tejidos sanos sin dañarlos. El radioterapeuta localiza el tumor mediante radiografías bidimensionales, lo que no posibilita una precisión exacta para dirigir el haz de radiación. Los informáticos de la UNC han desarrollado un sistema visualizador de realidad virtual en el que el cuerpo del paciente se modela gráficamente y, los radioterapeutas manejan los rayos de luz sobre el cuerpo virtual de modo que, en todo momento, pueden visualizar el punto de incidencia de los rayos de luz viendo el lugar exacto desde donde se consigue un mejor aprovechamiento de dichos rayos de luz sin dañar a otros tejidos.



Sistema de tratamiento radioterápico desarrollado por la UNC

Las operaciones quirúrgicas son, en muchas ocasiones, bastante peligrosas para los

pacientes que las sufren. Los médicos preferirían entrenar la operación que van a realizar. El uso de la realidad virtual satisface esta necesidad. En 1994, un reo condenado a muerte donó su cuerpo para construir un modelo virtual del mismo y poder ayudar a la medicina. Así, pues, cuando fue ejecutado, los científicos cortaron su cuerpo en finas capas que fueron digitalizadas una a una de tal modo que se reconstruyó, virtualmente, el cuerpo del recluso. Una vez conseguido esto, se le dotó de vida mediante la introducción de datos acerca de cómo funciona el cuerpo humano. El cuerpo virtual, desde ese momento, fue empleado para simular operaciones de alto riesgo. El cirujano realizaba la operación sobre el cuerpo virtual, gracias a un guante de datos y un casco estereoscópico. A medida que iba haciendo progresos se iban almacenando en un ordenador central que los almacena y, cuando terminaba la operación virtual, el cuerpo virtual moría o vivía dependiendo si la operación hubiera sido un éxito o no. En caso de salir bien, los datos sobre los movimientos de las manos y la manipulación de los órganos involucrados en la operación se trasladaban a la mesa de operaciones real, de tal modo que si el cirujano realizaba mal un paso de la operación el ordenador le avisaba, gracias a un guante de datos, de que ese paso era incorrecto. En esta forma, se han podido salvar numerosas vidas humanas que, de otro modo, hubieran muerto en la mesa de operaciones.

El empleo de realidad virtual en caso de discapacidades físicas ha supuesto un enorme paso hacia delante en la integración plena de estas personas en la sociedad. Técnicas como el seguimiento ocular o el de reconocimiento de la voz, son empleadas para introducir datos en el ordenador y éste, pueda ejecutar acciones que suplan la falta de capacidad de estas personas. Por ejemplo, actos como abrir una puerta pueden suponer un verdadero esfuerzo para gente que esté postrada en una silla de ruedas. Sin embargo, gracias a la aplicación de reconocimiento de voz, estas personas pueden dar la orden de abrir la puerta a un ordenador que, conectado a la misma, ejecuta dicha acción.

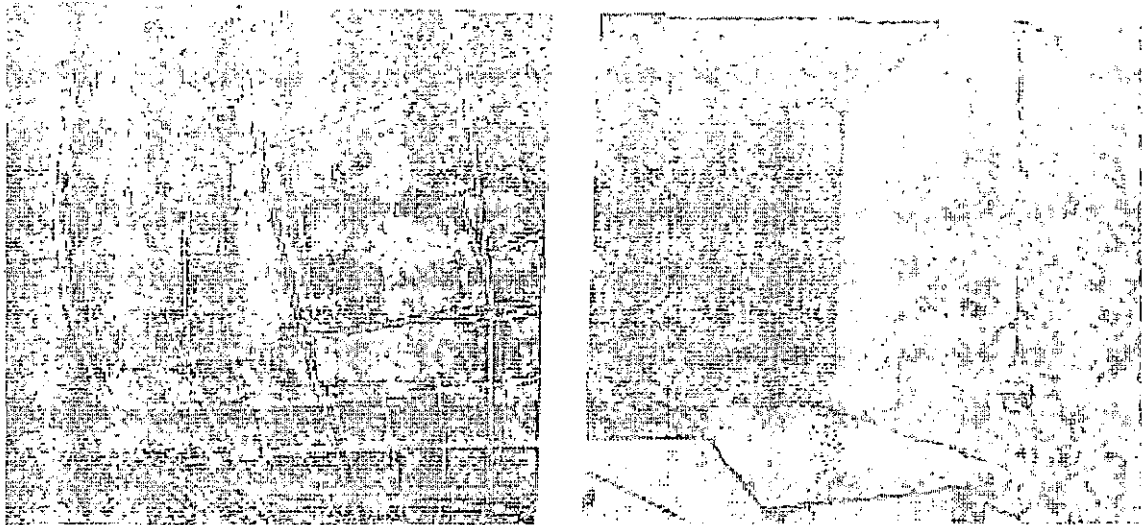
Hay un sistema de control de gestos, desarrollado por Greenleaf Medical System, que permite controlar los gestos de una persona minusválida y por medio de un determinado lenguaje gestual que sería muy fácil y adecuado a la discapacidad de cada persona, podrían controlar robots que harían su trabajo como si lo estuviera haciendo una persona sin ningún tipo de minusvalía.

Las amplias posibilidades de aplicación de la realidad virtual a la medicina -tanto desde la perspectiva de la prevención como de la terapia- son asombrosas. En el futuro, las herramientas virtuales serán de uso generalizado en la ciencia médica.

La realidad virtual aplicada al campo de la educación resulta, también, de una importancia notable. Los alumnos tienen que imaginarse, en muchas ocasiones, aquello de lo que le está hablando el profesor: cómo es la luna, cómo es un átomo, qué son las fuerzas de

acción-reacción, etc.

Aplicaciones virtuales como el "Laboratorio virtual de física", hacen posible que conceptos como la gravedad, la inercia, etc., puedan ser entendidos de un modo más gráfico por parte de los estudiantes. Éstos son capaces de experimentar las sensaciones que producen estos conceptos físicos mediante un guante de datos y un casco visualizador, ya que se crean espacios virtuales donde se aplican estos conceptos. Así, el estudiante es capaz de entender aquello que, posteriormente, tendrá que utilizar para resolución de problemas.



El "Laboratorio virtual de física"

Estas aplicaciones en el campo de la física se pueden trasladar a la astronomía, creando espacios simulados de como es la Luna u otros planetas mediante la reconstrucción de los mismos a partir de los datos proporcionados por la NASA. De este modo, los alumnos se sienten como astronautas contemplando el paisaje lunar y viendo aquello que el profesor les está explicando sobre este tema. En el Siggraph'92, había un sistema de realidad virtual que permitía ver como evolucionan los sistemas de masas galácticas, es decir, los llamados agujeros negros. Esto, que sería muy complicado verlo a través de un telescopio, es muy fácil verlo a través de un sistema de realidad virtual, el cual aporta ventajas a la hora de visualizar estructuras 3D complejas. La NASA ha confeccionado un catálogo de 935 galaxias por los cuales se pueden hacer paseos virtuales. La NASA es el mayor aplicador de esta tecnología a la información, la divulgación y a la investigación.

También es posible crear modelos de los monumentos arqueológicos más importantes, para que el alumno y, en muchos casos, visitantes de museos, puedan contemplar y pasear por estos monumentos, sin necesidad de tener que desplazarse hasta el lugar de ubicación del mismo. Estos visitantes tendrán una visión más ilustrada del mismo, que si lo vieran a través de fotografías o videos.

Evidentemente, el campo de la enseñanza de la biología también es propenso a sufrir aplicaciones de técnicas de realidad virtual. Los alumnos experimentan en clase con ratones o ranas para descubrir cómo son y funcionan los distintos órganos que los constituyen. El resultado es que todos estos animales mueren en las aulas. Mediante técnicas de realidad virtual es posible crear cuerpos virtuales de estos animales para que los estudiantes realicen los mismos experimentos y lleguen a las mismas conclusiones que llegan en los animales reales. El resultado podría ser que los alumnos reciben el mismo grado de enseñanza, pero los animales no mueren.

También, las ciencias químicas se pueden experimentar en modelos virtuales. La representación de modelos virtuales tridimensionales que simulan moléculas es una aplicación, bastante desarrollada, de la realidad virtual. En estos mundos, es posible visualizar el resultado de enlazar distintas moléculas de una forma determinada y, así, comprobar visualmente aquello que hemos escrito previamente en un papel mediante fórmulas químicas. El avance en este campo es notable, puesto que los científicos usan de esta forma de trabajo para comprobar la eficacia de sus investigaciones. Por otro lado, las bases de datos son cada vez mayores. Los químicos tiene, también, la posibilidad de crear entornos virtuales en los que se tenga un control más efectivo de todos estos datos, además, de compartir experimentos con otros colegas que se encuentran en distintos laboratorios. El sistema CAVE es el más empleado para realizar esta cooperación en los distintos experimentos químicos que, gracias a la facilidad que disponen para compartir datos que estén en estos mundos virtuales, son capaces de desarrollar nuevas fórmulas en menor cantidad de tiempo y con un mayor grado de verificación al intervenir, al mismo tiempo, varios científicos en esta labor.

En la UNC se trabaja en un proyecto sobre acoplamiento de moléculas y, gracias al Argonne Remote Manipulator, te permite "sentir" las fuerzas intermoleculares y visualizarlo desde cualquier ángulo. Esto es un gran adelanto a la hora de estudiar combinaciones moleculares y ver cuales son los resultados.

La empresa farmacéutica Glaxo y la Universidad de York están trabajando en la visualización molecular para crear nuevos fármacos. ELY LILLY es la primera compañía farmacéutica del mundo que ha creado un departamento de realidad virtual dentro de su empresa.

Advanced Robotics (Inglaterra) es una empresa donde están investigando sobre la conjunción de dos tecnologías, un microscopio de efecto túnel y la realidad virtual, para detectar características de materiales que con los métodos tradicionales no se pueden ver. También investigan la creación de micromáquinas a través de realidad virtual, ya que pueden hacer que componentes microscópicos de una máquina sean grandes a través de su visualización en un entorno virtual y de esta forma, poder manipularlos con una mayor facilidad de operatividad.

La vida artificial aprovecha, sustancialmente, los avances en la tecnología virtual. El Grupo GENEURA, que es un grupo totalmente español, ha desarrollado el MBITI WORLD. Con este sistema de vida artificial pretende saber como es la vida realmente y observar, "desde dentro", los mecanismos evolutivos y como se ha desarrollado la vida desde el principio de los tiempos. Están investigando en la creación de un programa en el que por medio de la realidad virtual, el investigador este dentro de ese programa y compruebe, realmente, si funciona en todos sus conceptos: desde la alimentación, caza, etc., hasta la reproducción. De este modo, podrán validarse las teorías de evolución de la vida en la Tierra.

Por otra parte, en el campo de la biología, se está investigando la posibilidad de trabajar dentro de las células, arterias, etc. Para que esto sea factible tendrían que haber máquinas tan pequeñas que se pudieran introducir dentro de las células. La visualización sería posible gracias a sistemas de realidad virtual. En esto tiene mucho que decir los trabajos en micromáquinas que se están llevando a cabo en la empresa Advanced Robotics de Bob Stone.

Esta aplicación, unida al "paciente virtual", revolucionaría por completo el mundo de la medicina.

Siguiendo en el campo de la educación y formación, la realidad virtual se está empezando a usar en las escuelas de conducir. Con estos sistemas, se evitan riesgos innecesarios que se deben asumir cuando aprendes a conducir coches.

Ingenieros y científicos ya han descubierto que la realidad virtual puede suponer una herramienta de trabajo tan importante, como en su día supuso, el microscopio.

Materias tan importante como la resistencia al aire de los distintos diseños, o la dinámica de fluidos aplicada a la construcción de barcos, son satisfechos en entornos virtuales donde un ordenador central crea, en tiempo real, las posibles variaciones que vayamos introduciendo al experimento, a la vez que almacena todos los resultados que se vayan obteniendo en los diferentes experimentos.

Los objetos industriales deben ser diseñados de tal forma que creen una alteración mínima en el medio que les rodea y, que este medio, influya mínimamente en el objeto. Esta relación ha sido estudiada por los diseñadores para conseguir formas que, de este modo,

puedan vencer la resistencia al aire y ahorrar combustible. Para realizar esta tarea se han empleado, desde siempre, los túneles de viento en los que los objetos diseñados se introducen para hacerles mediciones en relación a estos supuestos. Por supuesto, que la construcción de estos prototipos resultan bastante caros, al igual que lo es la construcción de estos túneles. para evitar estos altos costes, se ha desarrollado por estas mismas empresas túneles de viento virtuales en los que se realizan las mismas pruebas sobre objetos virtuales pero, a un coste menor. El tipo de visualizador empleado en estas simulaciones es el BOOM. Con este sistema el diseñador tiene la sensación de que se encuentra dentro del túnel y puede manejar los flujos del viento, así como rediseñar el objeto en función de los posibles variaciones que se propongan para mejorar el diseño del objeto.

Se hizo un experimento que consistía en pasar un motor real a un espacio virtual; un mecánico lo tenía que arreglar en el ciberespacio, y se pudo comprobar que había una pieza en el motor que era inaccesible para el mecánico. Esto sirvió para cambiar todo el diseño del motor y añadir todas las reformas que este mecánico había creído necesarias cambiar.

La complejidad de las formulas matemáticas y su representación espacial pueden ser de difícil comprensión. La realidad virtual tiene el potencial de crear entornos matemáticos que permiten interaccionar con modelos tridimensionales de ecuaciones, para poder llegar a explorarlas y manipularlas. De este modo, es más fácil comprender ecuaciones complejas puesto que, al ser visualizadas, cualquier matemático puede entender lo que significan espacialmente.

A través de estas aplicaciones matemáticas se han podido crear mapas astrales que, de otro modo, son difíciles de comprender. Los mapas estelares representados en una superficie de dos dimensiones necesitan de unos conocimientos profundos en astrofísica, para poder llegar a ser comprendidos. La representación de estos mapas en entornos tridimensionales supone un paso adelante en la forma de comprender y estudiar la disposición de las estrellas y galaxias conocidas de nuestro universo. La herramienta de navegación por este entorno de simulación espacial, suele ser el sistema BOOM puesto que permite un mayor grado de libertad por parte del científico.

Otro de los grandes apartados de aplicación de la realidad virtual, se produce en el campo de la información. Hasta ahora, los seres humanos hemos desarrollado instrumentos para clasificar las grandes cantidades de información.

El sector económico es un de los que mueve una mayor cantidad de datos. La mayoría de estos datos se presentan en un entorno, no muy natural, como es el de la superficie en una pantalla de dos dimensiones. Además, los hombres de negocios y de bolsa se mueven en un entorno hostil donde la toma de decisiones muy importantes debe ser efectuada de un modo

rápido. La realidad virtual pretende facilitar el trabajo creando espacios tridimensionales de visualización e interacción de los datos financieros para, de este modo, tener una visión más intuitiva de los mismos y facilitar la toma de decisiones. También, se han creado grandes bancos de datos financieros en los que, al igual que el mercado de imágenes, se pueden comprar y vender datos económicos. Las grandes empresas financieras son las que, por supuesto, controlan estos bancos, puesto que, en la sociedad en la que vivimos, quien tiene la información, tiene el poder.

La forma de hacerlo consiste en crear gráficos tridimensionales en los que se pueden añadir tantas variables como sean necesarias, según los diferentes aspectos económicos, y, de este modo, interaccionar con las mismas para comprobar visualmente cuales son los resultados en las demás si se varía una de ellas. Otra forma de aplicación virtual al mundo de los negocios es una representación virtual de los diferentes valores en las distintas bolsas mundiales, de tal forma, que cualquier valor puede ser visualizado con respecto a la progresión según días anteriores o con respecto a los demás valores. Se crea un entorno bursátil en el que están contenidas todas las bolsas importantes, así como los valores con un mayor nivel de cotización. Los magnates financieros disponen, por tanto, de una visión global en un modo bastante sencillo de comprender, de todo el mercado financiero mundial que les interese.

Los bancos importantes han creado espacios virtuales donde los clientes pueden hacer todas las acciones que ejecutan, a diario, en sus respectivos bancos. De este modo, y a través de Internet, pueden estar conectados con su banco todo el día.

La publicidad, que siempre ha usado de las nuevas tecnologías, han entrado en el mundo de la realidad virtual para presentar nuevos productos o utilizar el ciberespacio como escaparate comercial.

La meteorología necesita de una gran cantidad de datos para establecer predicciones, a partir de las observaciones que realizan. La realidad virtual es una herramienta bastante eficiente a la hora de construir entornos en los que, todos esos datos, estén integrados en una representación virtual de la atmósfera. de esa forma, podrán descifrar, de un modo más rápido e intuitivo, las informaciones que los diferentes satélites de observación les envían desde el espacio.

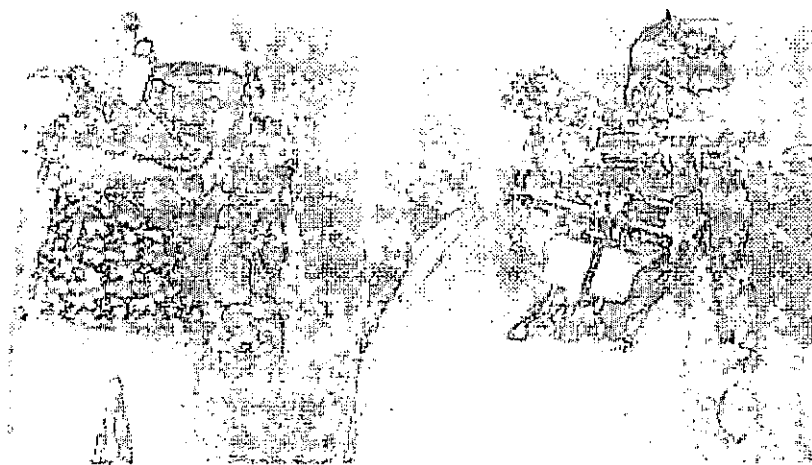
La realidad virtual, por otra parte, ha sido aplicada en la televisión para crear entornos de simulación o lo que se ha dado en llamar como "decorados virtuales". La información del tiempo fue la primera aplicación que se desarrolló en estos escenarios y ha constituido una avance notable en el mundo de la televisión, al evitar construir escenarios reales para la elaboración de programas.

Pero siguiendo con la aplicación de la realidad virtual al manejo de datos, existen otras

aplicaciones muy eficientes para controlar tanta información. En Japón, los diseñadores de software de control de las centrales eléctricas necesitan manejar un elevado número de datos, tanto para su construcción como para su puesta en marcha. Ellos lo dividen en diagramas, de tal modo, que aquello que controlan la construcción de las mismas se plasman en diagramas de bloque, mientras que el software que controla la utilización de las distintas máquinas se llaman diagramas de tiempos. Hay que conjugar ambos diagramas para que la puesta en marcha de una central eléctrica sea realizada con todas las seguridades y en el menor tiempo posible. Mediante programas de simulación virtual, los diseñadores de software son capaces de integrar ambos diagramas en un entorno gráfico con todas las variables necesarias para que, posteriormente, sean manipuladas y adecuadas a una mejora en la calidad del proyecto.

Además, se puede pasear virtualmente por estas centrales eléctricas, laboratorios químicos,..., y comprobar que funciona adecuadamente. También se puede controlar o dirigir una central situada en Estados Unidos desde Europa y, comprobar que los niveles de contaminación, por ejemplo, son los adecuados a las normativas del país en el que se sitúa dicha planta.

Por último, la aplicación que ha tenido mayor relevancia, en cuanto a logros conseguidos, es el de la telepresencia. La realidad virtual, en este caso, no trabaja en entornos generados por ordenador, sino en entornos reales. El hombre tiene una amplia voluntad para conquistar nuevos espacios que, para él, son inaccesibles debido a las características extremas del medio. Las grandes profundidades oceánicas o la vista a otros planetas, son dos de los grandes espacios que el hombre actual no tiene capacidad para llegar a ellos. En su lugar envía robots que soportan esas grandes presiones para llevar a cabo los trabajos de investigación que el hombre realizaría en ellos.



Robot dirigido por telepresencia

El éxito más notable de telepresencia dirigida a través de realidad virtual, fue el todoterreno Sojourner - de 62 cm. de longitud, seis ruedas y diez kilos y medio de peso - que el 5 de julio de 1997, dio su primer paseo por Marte. Este robot, que tenía que esquivar toda clase de obstáculos por la superficie marciana, era dirigido desde la Tierra mediante un sistema de realidad virtual en el que se observaban, mediante un casco estereoscópico, las imágenes reales que el robot mandaba desde Marte. De este modo, un científico de la NASA iba teniendo una visión clara de dichos obstáculos y, por medio de un guante de datos, transmitía las órdenes de respuesta para que el todoterreno las ejecutara. El robot fue capaz de transmitir 17.000 fotografías de la superficie marciana para su posterior análisis aquí en la Tierra, además de explorar unos 100 metros cuadrados del planeta rojo en casi tres meses. El 27 de septiembre de 1997 dejó de dar señales de vida. La razón más convincente parece ser un fallo en las soldaduras debido a los enormes cambios climáticos de Marte. La realidad virtual hizo posible que el hombre se moviera, con total control, sobre la superficie de este planeta.

Aquí, en la Tierra, se emplean robots en tareas cotidianas como reparaciones en un reactor nuclear, construcción de oleoductos en los fondos marinos, manipulación de materiales explosivos, etc. Para ello, la realidad virtual es el modo de manipular dichos robots ya que, el usuario se integra en el entorno al tener la misma visión que la del robot. Además, gracias a los guantes de datos, los brazos del robot son prolongaciones de los brazos humanos.

Las aplicaciones de la realidad virtual al mundo real son, cada vez, más frecuentes y de una mayor complejidad. Probablemente, mientras usted esté leyendo esta tesis, una nueva aplicación habrá salido al mercado. La capacidad con la que cuentan las empresas informáticas para integrar sus logros en la sociedad, es de una rapidez tan notable que muchas ideas, que hoy parecen sueños, mañana mismo están implementadas. La realidad virtual supone el futuro, en todo lo que se refiere a modos de trabajar y comunicación con las máquinas.

Capítulo 10.

NUEVA TERMINOLOGÍA PRODUCTO DE UN NUEVO MEDIO

El lenguaje evoluciona continuamente. El constante desarrollo del ser humano se ve plasmado en nuevos términos que enriquecen nuestro vocabulario. Cada época sintetiza su lenguaje característico en un modo de expresión definido. De ahí, a través de las pinturas rupestres conocemos todo sobre la Edad de Piedra, o las pirámides nos dicen mucho sobre la era de los faraones, así como las catedrales sobre la Edad Media, etc. Nuestra época es la de la información y se plasma en los procesadores de textos.

En el siglo XX la forma de tratar el lenguaje escrito ha cambiado mucho. Primero apareció la máquina de escribir, después la fotocopidora para, posteriormente, pasar al procesador de textos, con el fax y las grandes redes informáticas de información.

Gracias a redes internacionales de información como Internet, la gente se está comunicando a nivel transnacional de un modo bastante sencillo. Esto trae consigo el conocimiento de una serie de nuevos códigos que hacen evolucionar el lenguaje, a la vez que proponen nuevas formas de comunicarse como está siendo la realidad virtual.

Esta nueva realidad lleva implícita unos nuevos tipos de comportamientos: la literatura ha cambiado de texto escrito en papel a texto escrito manipulable electrónicamente. Es obvio que, actualmente, la gente recibe más información a través de los ordenadores que a través de los libros. El hipertexto se ha convertido en la mejor manera de buscar información y, sólo ha sido posible, gracias a los medios electrónicos. No hay que olvidar que nuestro pensamiento se ha visto implementado a lo largo de la historia, gracias al texto escrito. Las ideas se han escrito y han pasado de generación a generación para ser más elaboradas. La importancia de la imprenta fue primordial para la difusión de la cultura. Esta misma relevancia ha adquirido el procesador de textos con su lenguaje de máquina e hipertextualizado.

Martin Heidegger (1957, 95) afirmó que *el lenguaje de la máquina regula y ajusta el modo de nuestro posible uso del lenguaje a través de las funciones y energía mecánica. El lenguaje máquina es -y, sobre todo, se está convirtiendo- en un modo en el que la moderna tecnología controla el modo y el mundo del lenguaje tal cual. Mientras tanto, la impresión de*

que el hombre el amo del lenguaje máquina, todavía se mantiene. Pero la verdad del asunto podría ser bien que el lenguaje máquina lleva al lenguaje hacia su propio interés y, de este modo, controla la propia esencia del ser humano.

El lenguaje tecnológico se vuelve, o está volviendo, imprescindible para la vida cotidiana. El ordenador es el primer manipulador de símbolos que ha hecho el hombre, con el que se puede llegar a la conquista del trabajo con el propio pensamiento. Todo lo que escribimos en un ordenador se convierte en código que puede ser manipulado, y a la cual tenemos un acceso inmediato. La realidad virtual puede hacer que ese lenguaje sea universal al convertirlo en imágenes. El conocimiento de este lenguaje empleado en realidad virtual es, como afirmaba Heidegger, el propio conocimiento de la esencia del ser humano.

No se nos puede olvidar que el lenguaje tecnológico nos es más esencial en estos momentos, que cualquier otra herramienta. Esto ha hecho posible que podamos interactuar directamente con el lenguaje, lo que ha provocado una revolución en nuestro pensamiento. Las grandes redes han puesto en comunicación todas las partes del mundo, modificando e integrando todas y cada unas de las artes, con lo que obtenemos una unificación del pensamiento. En la literatura, por ejemplo, el hipertexto, modifica totalmente la forma de lectura, creando algo nuevo que se puede denominar *literatura no lineal* : podemos jugar con el texto tal como queramos, empezando y terminando la búsqueda en puntos anteriores o posteriores al principio elegido.

Hay que tener en cuenta, no obstante, el contexto en el que se mueven los textos, aspecto que no contempla el tratamiento de la información por las computadoras, por lo que podemos ser fácilmente manipulables desde cualquier punto del mundo gracias a las grandes redes existentes. Se abre la nueva posibilidad de tener acceso, instantánea y simultáneamente, a todos los pensamientos. Este adelanto no debe suponer un estancamiento de las posibilidades expresivas de nuestro lenguaje en favor del pensamiento.

Hay ciertos términos útiles que deben tenerse en cuenta a la hora de tratar el tema de la realidad virtual. Algunos son, ahora mismo, de uso generalizado, pero otros son específicos de esta tecnología. No obstante, cada vez más se están convirtiendo en términos generalistas, lo que supone una difusión más extendida por lo que resulta más fácil llegar a interpretaciones erróneas, que los medios de comunicación se empeñan en propagar para dotar de un mayor sensacionalismo a esta tecnología emergente.

El siguiente glosario de términos, basado en Cadoz (1994, 109), puede llegar a evitar, alguna que otra, confusión en el uso de dichos términos.

ACOMODACION.- Cambio en la longitud focal de las lentes del ojo para mantener a foco un objeto que se mueve cerca.

ACTUADOR.- Heramienta, normalmente hidráulica o eléctrica, que suele ser usado para dotar de retroalimentación táctil o de fuerza al usuario.

AGENTES.- Son los objetos del software que ejecutan las acciones en los mundos virtuales. Pueden evolucionar, cambiar y aprender. La creación de agentes de software mueve técnicas como animación de ordenadores, inteligencia artificial, redes neuronales, algoritmos genéticos, vida artificial, teoría del caos,...

AGENTES DE ASISTENCIA.- Algoritmos de inteligencia artificial desarrollados para guiar a los participantes a través de un mundo virtual, y aconsejar sobre posibles elecciones dentro de ese mundo.

ALGORITMO.- Conjunto de operaciones necesarias para el cumplimiento de una tarea. Serie de instrucciones, codificadas en lenguaje binario en un ordenador, que le ordena a éste la ejecución de los cálculos en un orden secuencial determinado.

AMPLITUD INTERAURAL.- Las diferencias existentes en la intensidad de un sonido entre las dos orejas de un individuo debido, principalmente, a la localización de un sonido.

ANALÍTICO/SINTÉTICO.- La realidad virtual refuerza la búsqueda de mundos sintéticos. La filosofía de este siglo ha indagado sobre las conexiones y asociaciones con el mundo real.

ARTICULACION.- Objetos compuestos de varias partes que se pueden mover por separado.

ATOMISMO PSICOLOGICO.- El punto de vista de que todo el conocimiento es construido desde datos psicológicos simples, tales como experiencias sensibles de colores, sonidos y gustos. En Occidente, este punto de vista es asociado con John Locke, George Berkley y David Hume.

ATRIBUTOS PERCEPTUALES.- Propiedades percibidas de los fenómenos sensibles. La altura, la duración, la intensidad, el timbre son atributos del sonido musical. Dependen a la vez de las propiedades físicas de los fenómenos y del funcionamiento del sistema perceptual. La relación entre las propiedades físicas y los atributos perceptuales no es siempre simple y puede variar de un individuo a otro.

AVATAR.- Un participante, realizado gráficamente, que actúa dentro de un mundo virtual.

BANDA ANCHA.- Es la cantidad de datos que pueden ser transmitidos en un segundo, a través de las líneas de una red electrónica. La realidad virtual requiere una banda ancha igual a la cantidad de realismo requerido para cada aplicación en particular..

AVATAR.- Representación de un cuerpo en tres dimensiones para operar en un mundo virtual.

BACKDROP.- El fondo estacionario en un mundo virtual. Los límites del mundo que no pueden ser reemplazados o rotos en elementos más pequeños.

BIOSENSORES.- Sensores que monitorizan la actividad eléctrica del cuerpo para introducir datos al ordenador.

BINOCULAR.- Mostrar la misma imagen a cada ojo. Ver estereoscopia.

BOOM(MONITORES BINOCULARES ONMI-DIRECCIONALES).- Ver capítulo explicativo de este tema.

BRAZO CON RETORNO DE ESFUERZO.- Brazo mecánico articulado, dotado de motores en sus articulaciones. Los motores, controlados por ejemplo por un ordenador, producen fuerzas que se oponen a las acciones del operador de tal modo que le dan la sensación táctil de que manipula objetos materiales.

BRAZO MANIPULADOR.- Brazo mecánico articulado que tiene en su extremo una

pinza o dispositivo de presión. Utilizado en robótica, permite, gracias a un control a distancia realizado por un operador o por un ordenador, manipular objetos.

CAD/CAM (DISEÑO DE COMPUTADOR ASISTIDO O MANUFACTURADOR DE COMPUTADOR ASISTIDO).- Es un software hecho a medida de los diseñadores para facilitarles el trabajo.

CAMPO VISUAL.- Suele ser llamado FOV y es el ángulo en grados del campo visual. El campo visual más común en el ser humano es de 180 grados FOV. La sensación de inmersión se alcanza a partir de los 60 a 90 grados FOV.

CIBER.- Un prefijo encontrado a lo largo de toda la literatura existente sobre la realidad virtual. La raíz es la cibernética, que es la ciencia que estudia los sistemas autoregulados. Sin embargo, se ha convertido en una palabra de referencia para todas las demás usos que connotan un uso integrado del ser humano con el ordenador.

CIBERESPACIO.- La unión de la información digital y la percepción humana, la "matriz" de la civilización donde los bancos trabajan sin dinero real y los buscadores de información navegan sobre capas de datos almacenadas y representadas en mundos virtuales. Los edificios en el ciberespacio pueden tener más dimensiones que los edificios físicos, y el ciberespacio puede reflejar diferentes capas de existencia. Se dice que el ciberespacio es donde tú estás cuando estás haciendo una llamada telefónica. Fue acuñado por el novelista William Gibson en su novela *Neuromante* (1984), y designa la representación gráfica de los datos provenientes de todos los bancos y de todos los ordenadores manejados por el hombre.

CIBERGUANTE.- Dispositivo para monitorizar los movimientos de la mano en un entorno virtual, de tal modo que la posición y gestos de la mano del usuario son calculados y el ordenador ajusta los gráficos que componen el mundo virtual.

CIBERNACIÓN.- La aplicación de las computadoras y maquinaria automática para llevar a cabo operaciones complejas.

CIBERSEXO.- Es el ciberespacio de las relaciones sexuales.

CIBERPUNK.- Un estilo cultural y literario postmoderno que profetiza un futuro computerizado. El futuro es dominado por corporaciones privadas que usan la tecnología de la información y las drogas para controlar a los individuos. Las historias ciberpunk son contadas desde la perspectiva criminal y se basan en el uso generalizado de la biotecnología, ordenadores, drogas y un paranoico estilo de vida. Los individuos sufren introspecciones mediante dispositivos electrónicos, y las alucinaciones regulan la vida pública. El ciberpunk es una rama de la ciencia ficción cuyo patrón es Philip K. Dick y cuyo manifiesto es la novela *Neuromante* de William Gibson. El término fue acuñado por el escritor de ciencia ficción Bruce Bepkie y se convirtió en un término de crítica literaria con Gardner Dozois, el editor de la *Revista de Ciencia Ficción Isaac Asimov*.

CINEMATICA INVERSA.- Una especificación del movimiento en sistemas dinámicos debido a propiedades de sus uniones y extensiones.

CLAVES DE PROFUNDIDAD.- El uso de sombras, texturas, colores, interposiciones y otras características visuales para engañar al usuario respecto a la distancia a la que se encuentra del objeto.

COMPONENTES ESPECTRALES.- Vibraciones sinusoidales elementales, de frecuencias, fases y amplitudes determinadas, en las cuales se descompone, según la teoría de Fourier, cualquier vibración compleja.

COMPUSERVE.- Una red internacional de conexiones entre ordenadores personales. Tiene un ciberdebate llamado CYBERFORUM moderado por John Eagan, que aborda el tema de la realidad virtual.

CONFLICTO DE PISTAS.- Una clase de error de movimientos dentro de un mundo virtual causadas por datos contradictorios que llegan por los sensores. Normalmente es debido a una calibración errónea de los dispositivos visuales o un retardo entre las entradas y salidas de datos de los sensores.

CONVERGENCIA.- Se produce en la visión estereoscópica cuando las imágenes del ojo derecho y del izquierdo se funden en una única imagen.

CONVERSION NUMERICO-ANALOGICA.- Procedimiento realizado por un dispositivo electrónico que pone en correspondencia una señal analógica con una señal numérica. La señal numérica es una serie de números representados en código binario, espaciados con un breve intervalo de tiempo regular llamado período de muestreo (del orden de 25 millonésimos de segundo en el caso de los fenómenos sonoros). la señal analógica es una tensión eléctrica que varía continuamente y que toma los mismos valores que la señal numérica en los instantes correspondientes.

COORDENADAS.- Un conjunto de valores que determinan la posición de un punto en el espacio. El número de coordenadas corresponde a la dimensionalidad del espacio.

CORRESPONDENCIA HOMEOMORFICA.- Correspondencia establecida entre dos objetos de tal manera que las formas (temporales o espaciales) de los fenómenos relativos a uno sean las mismas que en el otro, independientemente de sus escalas y de naturaleza (visual, auditiva, etc).

CORTEX OCIPITAL.- La parte del cerebro que recibe las proyecciones retinotópicas de los dispositivos visuales.

CORTEX PARIETAL.- El área del cerebro, situada al lado del cortex occipital, que procesa la localización espacial y la información de dirección.

DATAGLOVE, CYBERGLOVE (guante de datos).- Un guante de nylon cubierto por una trama de sensores que proporciona un acceso manual a los objetos en entornos virtuales ; algunas veces, posibilita una variedad de gestos que inician movimientos en el mundo virtual. Esto es, el guante tiene sensores de fibra óptica para detectar la posición de la mano y los dedos, permitiendo al usuario alcanzar, manejar y cambiar objetos en el mundo virtual. Los guantes actuales detectan la posición y el grado de movimiento de cada uno de los dedos pero no el movimiento interno (movimiento somático) que son más difíciles de medir.

DATASUIT (traje de datos).- Un traje, cuya filosofía de funcionamiento es idéntica al guante de datos, pero que cubre todo el cuerpo. Interacciona los gestos y movimientos del cuerpo del usuario con el entorno virtual.

DATOS ESPACIALES.- Asignación de orientación y coordenadas de posición a los sonidos digitales asignados a los datos.

DATOS DE SONIDO.- Asignación de sonidos a datos digitalizados que son filtrados para dar ilusión de localización de sonidos dentro del espacio virtual.

DETERMINISMO.- El punto de vista de que todo ocurre necesariamente a partir de acontecimientos predeterminados. El determinismo rechaza cualquier aleatoriedad, considera la libertad como una ilusión (determinismo duro) o subjetiviza algún camino de necesidad (determinismo blando). El determinismo blando puede ser aplicado a los cambios tecnológicos en el modo siguiente: la introducción de una tecnología transforma, inevitablemente, una sociedad; como individuo no tengo una oportunidad real, pero puedo mejorar la tecnología, dependiendo en la aptitud consciente que tome con respecto a ella. Desde este punto de vista, puede tener una visión reaccionaria (rechazo la expansión tecnológica) o utópica (se convierte en la panacea social). Tal determinismo tecnológico es una variante del determinismo blando.

DINAMICA.- Las reglas que gobiernan todas las acciones y comportamientos dentro de un entorno.

DISCRETIZACION.- Procedimiento que hace corresponder a un fenómeno o a un objeto continuo un conjunto de elementos discretos.

DISONANCIA KINESTÉSICA.- Disfunción entre la retroalimentación y su ausencia procedente del toque o movimiento durante las experiencias virtuales.

DISPOSITIVO DE CRISTAL LÍQUIDO (LCD).- Dispositivos que usan películas bipolares entre dos capas de cristal. Suelen ser usados en los cascos estereoscópicos.

DISPOSITIVOS DE ESCANEAMIENTO SOBRE EL OJO.- El ordenador necesita información sobre los movimientos del ojo del usuario para generar imágenes visuales apropiadas. Una variedad de dispositivos, desde sensores de cabeza hasta láseres de bajo nivel, son usados para suplir y computar la actividad visual. Aristóteles señaló en su *Metafísica* que los humanos tenemos tendencia a aprender más sobre el mundo exterior desde el sentido de la visión que desde ningún otro sentido, porque los ojos dan más detalles y diferentes campos de

información. La filosofía existencial, sin embargo, ha descubierto la primacía de la visión señalando por la importancia de la presencia y las pistas no visuales que nos alertan sobre la presencia.

DISTORSIÓN METÁLICA.- Interferencias de ruido en los sensores electromagnéticos cuando son usados cerca de grandes objetos metálicos.

DOT (TECNOLOGIA DE OBJETOS DEFORMABLES).- Objetos virtuales que se deforman cuando son tocados, o cambios en los efectos de luz del objeto mientras el observador se mueve al mirarlos.

DUALISMO.- La visión filosófica de Descartes nos indica que la mente (sustancia pensante) puede trabajar por si misma, aparte del asunto (sustancia extendida), para constituir la plenitud de realidad. Según este punto de vista, el asunto existe sólo en sustancias inertes y no puede ser comprendida fuera de las ciencias. Descartes fundó la geometría analítica y contribuyó a la óptica geométrica en su *Discurso del Método* (1637). La filosofía cartesiana continua teniendo influencia en el debate sobre el realismo de la realidad virtual.

EFFECTO DOPPLER.- Un aparente incremento en la frecuencia del sonido o luz mientras el observador se acerca o se aleja del objeto.

EFFECTORES.- Dispositivos usados en los mundos virtuales para entrada y salida de datos que proporcionan sensación táctil. Son los guantes, cascos y sensores de posición.

EGOCENTRO.- La sensación de localización del observador dentro de un mundo virtual.

ELEMENTOS DISCRETOS.- Fenómenos, objetos o entidades abstractas elementales que constituyen un conjunto contable y entre los cuales no hay punto intermedio. Los números enteros o las letras del alfabeto son elementos discretos.

ENDOSCOPIA.- Del griego *endon* (dentro de) y *skopein* (examinar, observar); examen del interior de los órganos o cavidades del cuerpo mediante la utilización de un instrumento. La endoscopia más avanzada se hace a través de simulaciones virtuales que

simulan los distintos órganos que componen el ser humano.

ENTIDAD.- Algo que se registra como un presente ontológico o que tiene un efecto sobre el mundo. Las entidades incluyen los objetos virtuales también como sistemas expertos funcionando como agentes en el mundo virtual. Las entidades no necesitan reflejar la metafísica del mundo real.

ENTORNO VIRTUAL.- Una escena o una experiencia en la que un participante puede interactuar usando los dispositivos de entrada y salida que están conectados al ordenador. La mayoría de los mundos virtuales intentan simular el mundo real, pero toda aquella información que no pueda ser visualizada en un mundo virtual no puede ser experimentada, mientras que en el mundo real si puede llegar a realizarse.

EPISTEMOLOGÍA.- El estudio tradicional del conocimiento humano, sus fuentes, su validación, y sus implicaciones en otros aspectos de la vida.

ESPACIO TRIDIMENSIONAL DE SINTESIS.- Espacio virtual reconstituido con una técnica de síntesis de imagen, que posee las tres dimensiones del espacio natural.

ESTADOS ALTERADOS.- Un énfasis en psicología son estados paranormales de consciencia, tales como alucinaciones inducidas por las drogas, espejismos o misticismos religiosos. En torno a la realidad virtual hay modelos de percepción personal mejores que en el mundo real. Por tanto, puede entrar dentro de los estudios psicológicos sobre estados alterados.

ESTEREOSCOPIA.- Procedimiento de elaboración y de presentación de dos imágenes planas destinadas respectivamente al ojo derecho y al ojo izquierdo que permiten, respetando su diferencia de punto de vista en el espacio, restituir una percepción de la profundidad y de los volúmenes.

ESTÉTICA.- Es la rama de la filosofía que investiga cuestiones tales como qué es lo que hace de algo una obra de arte ; son valores absolutos los existentes en el arte o los valores estéticos son relativos ; están estos valores basados única y exclusivamente en preferencias personales. Sobre el tema de la realidad virtual aborda si sigue en valores estéticos

tradicionales mientras promete, debido a su poder sobre el usuario, reformar el campo de la estética.

EXISTENCIAL, EXISTENCIALISMO.- Un énfasis filosófico en la presencia y en la construcción del presente, sobre la acción y la elección humana. El existencialismo fue un movimiento filosófico de principios del siglo XX que rechazaba el estatismo en favor del pragmatismo, el compromiso con la historia y el cambio. Sus principales precursores fueron Martin Heidegger, Jean-Paul Sartre, Simone de Beauvoir y Karl Jaspers. Maurice Merleau-Ponty enfatizó el papel del cuerpo humano en la presencia conseguida. La interacción de los últimos años del siglo XX connotan cierto grado de existencialismo.

EXOESQUELETO.- Dispositivo constituido por varillas rígidas articuladas, colocado alrededor del cuerpo. Los movimientos del cuerpo provocan el movimiento de las varillas articuladas; sensores de ángulos en las articulaciones del exoesqueleto permiten recoger informaciones sobre los movimientos del cuerpo.

EYEPHONES.- Un dispositivo colocado sobre la cabeza que une el campo visual del usuario con las imágenes generadas por ordenador de un mundo virtual. Suplen el mundo visual primario del usuario con un chorro de imágenes en tres dimensiones generadas por ordenador.

FRACTAL.- Un modelo gráfico generado a partir de las mismas reglas a varios niveles de detalle. Esto es, un modelo gráfico que se repite a sí mismo sobre una escala cada vez más pequeña.

FRENTE A FRENTE (situación del).- Situación de interacción con el ordenador en el cual las interfaces, al intentar reproducir ciertos aspectos realistas de las interacciones sensoriomotrices con los objetos del mundo real, se presentan frente a frente al operador sin sumergirlo y sin excluir los componentes reales de la instalación o del entorno.

FUERZA DE RETROALIMENTACION.- La salida que transmite presión, fuerza o vibración para dotar al participante dentro de un mundo virtual, la sensación de resistencia en la fuerza, peso o inercia. Es lo mismo que la retroalimentación táctil que simula sensaciones, por ejemplo, de texturas, aplicadas a la piel.

FUNCION DE TRANSFERENCIA RELATIVOS A LA CABEZA.- Una transformación matemática del espectro de sonidos que modifica la fase y amplitud de señales acústicas para proporcionar distintos efectos sonoros al oyente del mundo virtual.

GAFAS OBTURADORAS.- Gafas que alternativamente bloquean de forma simultánea, o el ojo izquierdo o el ojo derecho, ajustándose a las imágenes que genera el ordenador para cada ojo, de forma que se crea un efecto estereoscópico.

GESTO.- Movimiento de la mano que puede ser interpretado como un signo, señal o símbolo.

GRADOS DE LIBERTAD.- Direcciones independientes de acuerdo a las cuales un objeto sólido puede desplazarse. Por ejemplo, un sólido en el espacio puede desplazarse de acuerdo a seis grados: tres grados de traslación y tres grados de rotación.

GUI (Graphical User Interface o interface gráfica para el usuario).- Término usado por la industria de los ordenadores para distinguir una aproximación específica a la interacción con el ordenador. El prompt del sistema operativo MS-DOS es menos representativo que coger un archivo con el ratón y tirarlo a la basura.

HCI (Human-Computer Interaction o interacción humano-ordenador).- La industria de los ordenadores necesita ver distintos puntos de interacción del hombre con un ordenador. Desde códigos binarios, teclados alfanuméricos, pantallas táctiles, ratones o track-balls. La realidad virtual son es más que un nuevo interface.

HMD (Head Mount Display o dispositivo montado sobre la cabeza).- Es un dispositivo que cubre la cabeza para visualizar gráficos estereoscópicos en tiempo real, generados por el ordenador. El HMD también da información sobre la posición del usuario de tal modo que el ordenador genera los gráficos atendiendo a dicha posición. Algunos vienen equipados con cascos estereoscópicos para seguimiento de audio de entidades virtuales. Las técnicas más avanzadas incluyen el uso de láseres de bajo nivel para enviar chorros de luz directamente sobre la retina, creando representaciones holográficas.

HUD (heads-up display).- Un visor que, combinado con sensores de posición de cabeza, aumentan el campo visual del usuario. El visor superpone una ventana virtual flotante que actúa como una asociación electrónica, ayudando a los trabajadores en tareas complejas al proporcionarles las instrucciones de operación.

HUMANO VIRTUAL.- Humaníode robótico o fotorealista. Se emplea para entrenamiento en situaciones de riesgo con simulación o telepresencia y, también, como figura humana para análisis de factores ergonómicos.

HYPER.- Este prefijo significa -extendido-. El hiperespacio es el espacio que existe detrás de las tres dimensiones. Los hipersistemas son sistemas de unión no lineales que unen rutas directas en una dimensión o plano diferente. El hipermedia cruza vínculos de información en textos, gráficos, audio o video.

HIPERTEXTO.- Desde el punto de vista de la ciencia computacional es una base de datos con nodos (pantallas) conectadas con nexos (links o conexiones mecánicas) e iconos para designar donde existe la unión en el texto. La semántica del hipertexto permite al usuario unir texto de un modo libre con audio o video, lo cual lleva a la aproximación multimedia a la información. Este término fue acuñado por Ted Nelson en 1964 y sus desventajas pasan por la desorientación y la sobrecarga cognitiva.

IA (amplificación de la inteligencia).- La suma del interface del humano y el ordenador. El ser humano intuye modelos, relaciones y valores, mientras que el ordenador procesa y genera datos que incluye la entrada sensorial para los sentidos humanos. La IA reemplaza la obsesión por la AI (inteligencia artificial) en la rivalidad máquina-hombre por ver la codependencia entre el hombre y el ordenador.

ICONOLATRIA.- Culto, adoración de las imágenes.

IDEALISMO.- El punto de vista ontológico por el que toda cosa puede ser mostrado para ser mental o espiritual.

INFONAUTA, CIBERNAUTA.- Término para describir a aquellos que navegan entre moléculas de polímeros virtuales, que entran en el interior de agujeros negros virtuales, y

que exploran datos científicos moviéndose en los mundos virtuales a través de su representación.

INFORMATICA MUSICAL.- Campo de investigación y de creación en el cual se utiliza el ordenador para analizar y recrear los sonidos, componer o analizar música.

INMERSIÓN.- Una importante característica de los sistemas de realidad virtual. El entorno virtual sumerge al usuario en las vistas, sonidos y tactos específicos de ese entorno. La inmersión crea el sentido de estar presente en un mundo virtual, un sentido que va detrás de las entradas y salidas psíquicas. Es una de las cuestiones más importantes a investigar en el mundo de la realidad virtual.

INPUT.- Información añadida a un ordenador a través de una variedad de diferentes dispositivos como teclado, ratón, joystick, reconocimiento de voz y sensores de posición tales como cascos, BOOMs y guante de datos.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL.- Disciplina de la informática en la cual se trata de dar a las máquinas facultades de percepción, de razonamiento y de acción artificiales, semejantes o no a las del hombre, lo que les permite cumplir de manera autónoma (sin intervención del hombre) tareas en un entorno real.

INTERACCION O INTERACTIVIDAD.- Acción o actividad mutua de un agente (el hombre o la máquina) sobre o con otro (igualmente hombre o máquina), que implica a ambos en un proceso de ida o vuelta.

INTERFACE.- El punto de comunicación entre dos sistemas, aplicados al hardware o al software o a una comunicación de ambos. Es un término clave en la filosofía de la tecnología porque designa el punto de conexión entre el humano y la máquina digital.

INTERFACE HAPTICO.- Uso de sensores físicos para proporcionar al usuario la sensación de rozamiento en la piel, la sensación de fuerza en los músculos.

INTERFACE NEURONAL.- La ciencia-ficción ha mantenido siempre la idea de mantener comunicaciones directas hombre-máquina por medio de conexiones directas al

sistema nervioso humano. Los neurólogos han advertido de los peligros de esto pero, no obstante, se ha seguido creyendo en la idea.

IRREALISMO.- El mundo es un concepto plural. Cada mundo es una variedad de mundos relacionados, y cada mundo construye su propio contexto y reglas de inteligibilidad. Hay un mundo, por ejemplo, de arte, o de deportes, o de religión. Hay también tiempos y lugares cuando tenemos la necesidad de construimos un presente para nosotros mismos dentro de un único mundo.

JOYSTICK.- Pequeño mago de mando que puede ser manipulado de acuerdo a varios grados de libertad.

JUEGO DE GOTA DE CRISTAL.- Un juego de ficción descrito por Herman Hesse en su libro "Juego maestro" (1943). Los debates sobre realidad virtual hacen referencia, a veces, a este juego ya que en él los jugadores combinan todos los símbolos de la cultura mundial produciéndose configuraciones sorprendentes dentro de la misma novela. En realidad, está bordando el asunto del hipertexto y los mundos virtuales, abordando de este modo algunos problemas tales como el rol del cuerpo y las disciplinas para profundizar en el espíritu humano.

KINESTESIA.- Sensaciones derivadas de los músculos y tendones y estimuladas por el movimiento y la tensión.

LATENCIA.- Tiempo de espera entre el movimiento del usuario y la respuesta del sistema, algunas veces medida en frames. También es el retardo entre un cambio actual en la posición y su reflejo en el sistema, además del tiempo de respuesta.

LAZO ACTIVO-PERCEPTIVO.- Cualquier proceso de percepción es activo. La vista, por ejemplo, se produce por las señales nerviosas enviadas por la retina al cerebro, pero el ojo está en perpetuo movimiento: movimientos voluntarios de la mirada que permiten fijar un objeto en particular, pero también pequeños movimientos inconscientes, llamados micromovimientos oculares, necesarios para mantener una excitación de las células de la retina.

MAPA DE TEXTURAS.- Herramienta para incrementar el realismo de un objeto.

MAREO VIRTUAL.- Molestias varias en forma de desorientación, dolores de cabeza, náuseas, causadas por distorsiones sensoriales provocadas en la interacción con los mundos virtuales. Estas distorsiones se producen por movimientos anormales debido al peso del equipamiento, por ejemplo, el casco; retardos en el tiempo de latencia o fallos en la convergencia y acomodación de los ojos.

MATERIALISMO.- El punto de vista que determina que todo puede ser mostrado para ser material y que los fenómenos mentales y espirituales no existen o no tienen una existencia independiente del asunto. Es el punto de vista de Demócrito, Thomas Hobbes y Karl Marx.

MEDICINA VIRTUAL.- El uso de modelos generados por ordenador que representan los instrumentos médicos para intentar simular las acciones del personal médico sobre los pacientes.

METABALL.- Una superficie definida a través de un punto especificado por una localización, un radio y una intensidad.

METAFÍSICA.- El estudio de los primeros principios de realidad, incluyendo la especulación sobre epistemología (conocimiento), ontología (ser), ética (bondad) y estética (belleza). La metafísica de la realidad virtual aborda temas como presencia, grados de realidad, objetividad (primera persona, tercera persona), simulación contra realidad, el ratio de mental a material sensorial, ética de la simulación, evaluación de los entornos virtuales y la coordinación central de las realidades virtuales. Tradicionalmente, la metafísica también trata tópicos como mundos posibles, metas intrínsecas y conceptos como significado y propósito final.

MIT.- Instituto Tecnológico de Massachusetts (Estados Unidos).

MODELIZACION.- Procedimiento por el cual se representa la causa o el fundamento de ciertos fenómenos caracterizados por la experiencia mediante la ayuda de leyes matemáticas o de algoritmos informáticos.

MODELO.- Una simulación generada por ordenador de algo real.

MUNDO.- Un mundo, tanto sea real o virtual, es un entorno total en el que se desarrollan las acciones humanas. El mundo real se diferencia del virtual en que en el último todas las cosas tienen una presencia artificial.

MUNDO PRIMARIO.- El entorno humano fuera del mundo generado por ordenador. El mundo primario tiene propiedades tales como natalidad o mortalidad, fragilidad o vulnerabilidad al dolor y cuidado personal. La ontología de los mundos primarios limita el realismo de los mundos virtuales.

MUNDO VIRTUAL.- Ver ENTORNO VIRTUAL.

NANOMANIPULADOR.- Dispositivo que permite la manipulación de objetos cuyo tamaño es del orden del nanómetro.

NANOMETRO.- Unidad de medida de las distancias equivalente a la mil millonésima parte del milímetro.

NAVEGAR.- Se refiere a la forma en la que el usuario se mueve a través de los datos en una red de información o en un ciberespacio. En general, se refiere al conjunto de las acciones por las cuales un ser vivo se desplaza físicamente en su entorno.

NIHILISMO.- El punto de vista que cree en que nada existe realmente o nada merece existir.

NIVEL DE DETALLE.- Un modelo de resolución particular entre una serie de modelos del mismo objeto. Una mejor descripción de un objeto se obtiene cuando se utiliza un menor nivel de detalle, es decir, si se ocupa un menor número de pixels en la pantalla.

OBJETOS.- Formas tridimensionales dentro de un mundo virtual, con las que el operador puede interactuar.

OBTENCION DE IMAGENES MEDICAS.- Disciplina de la informática aplicada a la medicina que se preocupa por dar, a través de las imágenes de síntesis, representaciones

visuales del cuerpo, de sus órganos y de sus funciones, con el fin de ayudar a su observación y comprensión y a las intervenciones quirúrgicas.

OCLUSION.- Esconder un objeto o una porción de un objeto de la vista por interposición de otros objetos.

ONTOLOGIA.- El estudio de la realidad relativa de las cosas. Discrimina y localiza las diferencias entre lo real y lo irreal y desarrolla el camino de diferenciación de lo real con lo irreal. La ontología tradicional estudia las entidades o seres observando las condiciones bajo las cuales atribuimos realidad a los entes.

PARADIGMA DE VISUALIZACION.- Todos aquellos dispositivos que son empleados para poder interactuar en un espacio virtual a través del sentido de la vista. El más extendido es el casco estereoscópico.

PARALAJE.- La diferencia en el ángulo visual creada por tener los dos ojos mirando a la misma escena desde dos posiciones ligeramente diferentes, por lo que se crea una sensación de profundidad.

PARALAJE DE MOVIMIENTO.- La forma en la que el observador mide la distancia entre a la que se encuentra de los objetos, cuando estos se mueven o cuando el observador se mueve respecto a ellos.

PERSPECTIVA.- Las reglas que determinan el tamaño relativo de los objetos en una superficie plana, para así conseguir la percepción de profundidad.

PIXEL.- La unidad de superficie más pequeña de una pantalla de visualización del que se puede controlar la intensidad de la luz y el color, independientemente de sus vecinos, para crear una imagen.

PLANO DE AJUSTE.- La distancia a partir de la cual los objetos no son mostrados.

PLATAFORMA DE MOVIMIENTO.- Un sistema que proporciona movimiento real a partir del movimiento generado en un mundo virtual.

PORTAL.- Polígonos o iconos usados para atravesar un espacio virtual que automáticamente carga un nuevo mundo o ejecuta una función.

PSICOACUSTICA.- Disciplina científica que estudia el vínculo entre los estímulos provocados por un fenómeno acústico y las sensaciones auditivas que de ellos resultan.

PRAGMATICO.- Una postura clásica en filosofía que enfatiza el punto de vista del usuario. Las cuestiones importantes no se separan de las acciones humanas. El pragmatismo es la metafísica de los factores humanos.

PRESENCIA.- Se ha convertido en un concepto crucial para la filosofía desde principios del siglo XX. Para Heidegger, la presencia es sinónimo del ser y una función de temporalidad. Según este autor, toda la historia de la realidad debe ser reconsiderada desde el punto de vista de la presencia. En realidad virtual, la presencia es un concepto clave, con el que los investigadores buscan definir y cuantificar las posibilidades reales de un sistema.

PROGRAMACIÓN DE OBJETOS ORIENTADOS.- Hay lenguajes de programación, tales como C y C++ que ofrecen soluciones a los complicados problemas lógicos de programación de los mundos virtuales. Cada agente en un mundo virtual interacciona uno con otro: si actúan 10 agentes y hay posibilidad de 9 variaciones posibles, tendremos que calcular unas 90 interacciones. La capacidad de este lenguaje como, por ejemplo, encapsulación, asociación y polimorfismo, reduce la complejidad de programación en mundos virtuales, a partir de que las interacciones múltiples no han de ser programadas individualmente.

PROTOTIPO DIGITAL.- La simulación de un diseño o producto para ilustrar las características antes de su construcción. Normalmente es empleada como herramienta de exploración para diseñadores e ingenieros o como herramienta de comunicación.

PUNTO DE VISTA DE LA ESCENA.- Un mundo virtual visto en una gran pantalla mayor que el que se consigue con dispositivos inmersivos.

RADIOIDAD.- Un sistema de cálculo de iluminación difusa para gráficos basada en

el balance de energía que se produce por las refelexiones de la luz en las paredes.

RATIO DE ASPECTO.- El ratio de anchura a altura del campo visual.

RAY TRACING.- Técnica para simular un objeto tridimensional, mediante perfiles y sombras, por medio de trazados de rayos de luz que van desde la posición del observador a la fuente de luz.

REALIDAD ARTIFICIAL.- Espacios simulados creados por una combinación de ordenador y sistemas de video. El inventor del término y del sistema fue Myron Krueger a partir del año 1974.

REALIDAD AUMENTADA.- La superimposición de los datos generados por ordenador sobre el campo visual primario. Un cirujano, por ejemplo, podría llevar gafas de datos para aumentar la percepción del cuerpo del paciente, y así ver continuamente información sobre su estado vital.

REALIDAD VIRTUAL.- La realidad virtual pretende convencer al participante de que está en otro lugar sustituyéndolos datos sensoriales recibidos por el participante con información procedente del ordenador. Esto se hace a través de gráficos tridimensionales y dispositivos de entrada-salida que lo conectan con el mundo físico. Los dispositivos más comunes son guantes, que aportan información sobre las distintas posiciones de los manos y dedos del usuario, y el casco estereoscópico, que aporta una visión tridimensional del entorno virtual y la posición de la cabeza respecto a este entorno virtual, para que el ordenador actualiza los datos del espacio en tiempo real.

La definición de realidad virtual incluye conceptos como interactividad, inmersión, entornos de trabajo en red y telepresencia, todos ellos ya definidos previamente.

REALISMO.- Desde un punto de vista técnico, el realismo se refiere a las teorías metafísicas que atribuyen la prioridad a entidades abstractas. El platonismo, por ejemplo, mantiene que los modelos matemáticos son más reales que sus modelos en el mundo físico. El platonismo encuentra la realidad de las cosas en su estabilidad e inteligibilidad.

Relacionándolo con la realidad virtual, el realismo es la relación del ciberespacio, tratado como un mundo de fenómenos, con su particular mundo de entidades. La no realidad

sería el tratar la realidad virtual como software y hardware separándolo de la experiencia humana.

RED.- Una red conecta ordenadores a través de cables, líneas de teléfonos o transmisión de satélites. La red global Internet conecta instituciones de todo tipo : militares, gubernamentales, comerciales y educacionales. Otras redes que actúan en zonas más locales son, por ejemplo, Infovía, Compuserve y Prodigy. Pero de una red podemos pasar a otras en cualquier momento.

REDES NEUROMIMÉTICAS.- Conjunto de los procesos elementales que realizan funciones comparables a las de las neuronas y que están organizadas en redes como el cerebro. Las funciones realizadas por los procesos elementales son muy simples; destinan un peso específico a la aparición de informaciones en sus entradas. La combinación de estos procesos en gran número confiere al todo facultades de aprendizaje.

REPRESENTACION.- Cualquier acción que consista en reemplazar un objeto, un fenómeno o una entidad abstracta por otro objeto (u otro fenómeno) que asegure entre ambos una cierta correspondencia de propiedades, de tal modo que pueda establecer con el sustituto interacciones diversas que equivalgan a aquellas que se tendría con el sustituido. La representación pone en correspondencia un representante y un representado.

REPRESENTACION HOMEOMORFICA.- Representación en la cual el representante y el representado se corresponden en su forma, es decir, en el desarrollo en el tiempo y en el espacio de algunas de sus manifestaciones. Una forma puede ser visual y desarrollarse en el espacio, en el tiempo, como el movimiento de un proyectil. Una forma puede ser sonora y presentar particularidades en su evolución temporal, etc. La representación homeomórfica puede establecer correspondencias entre fenómenos sensibles de naturaleza diferentes, entre lo que se ve y lo que se oye, por ejemplo, o incluso entre la dimensión temporal de una forma y la dimensión espacial de otra, como cuando se efectúa un relevamiento de presión atmosférica con un barómetro registrador.

REPRESENTACION ICONICA, SIMBOLICA, SEMIOTICA.- En la representación icónica, el representante y lo representado mantienen una relación natural de semejanza o de evocación. Es más fuerte que la representación homeomórfica, en la medida en

que la naturaleza de los fenómenos y sus determinaciones espaciales y temporales se ven respetadas. La representación simbólica establece una correspondencia a través de un camino más complejo: la balanza representa a la Justicia porque se supone que los hechos que se juzgan tienen un peso y que éstos deben ser iguales. La representación semiótica asocia un significado y un significante entre los cuales la correspondencia puede ser arbitraria y establecida por convención. Por ejemplo, la asociación de la palabra "árbol" (pronunciada o escrita) con ese tipo de plantas constituido por un tronco, ramas, hojas,...

REPRESENTACION INTEGRAL.- El calificativo de integral expresa en este caso que el representante se manifiesta a la totalidad de nuestros sentidos coordinados (visual, auditivo, táctil, etc.) y que puede establecerse una interacción material efectiva entre él y nosotros, en particular a través de nuestros gestos.

SEIS GRADOS DE LIBERTAD.- La capacidad para moverte en las tres direcciones del espacio a través de tres ejes que atraviesan el centro del cuerpo. De este modo, la localización y orientación son especificadas a partir de seis coordenadas.

SENSOR DE POSICIÓN.- Dispositivo que proporciona la información sobre la localización y orientación de un usuario.

SEÑAL.- Fenómeno físico, en la mayoría de los casos eléctrico, a través del cual se transmite una información.

SIMULADOR DE VUELO.- Un precursor de la realidad virtual que surgió antes de la II Guerra Mundial como ayuda al entrenamiento de pilotos. Los primeros simuladores utilizaban fotografías acopladas a máquinas de movimiento que imitaban el vuelo de un avión.

SIMNET.- Un simulador de realidad virtual desarrollado para aplicaciones virtuales. Es un simulador avanzado puesto que se puede simular en un mismo espacio virtual desde lugares físicos distintos. En sus orígenes se usó para entrenamiento en carros de combate. Puede llegar a representar entornos como Los Angeles o San Francisco con un grado de realismo bastante convincente.

SÍNDROME DE MUNDOS ALTERNADOS (SMA) Y DESORDEN DE LOS

MUNDOS ALTERNADOS.- Los simuladores de vuelo pueden provocar náuseas y faltas de orientación, debido al retardo del movimiento entre las órdenes del piloto y la respuesta de la máquina. El Síndrome de mundos alternados se produce en mundos en concreto, pero, si se convierte crónico, se produce el desorden de mundos alternados.

SINTESIS DE LA PALABRA.- Procedimiento de reconstrucción mediante ordenador de los sonidos de la palabra, con técnicas de síntesis de sonido apropiadas. La síntesis de la palabra es una de las disciplinas de la comunicación hombre/máquina.

SINTESIS DEL SONIDO.- Reconstrucción artificial de los fenómenos sonoros con ayuda de un ordenador.

SOMATICO.- Un punto de vista interno de tu propio cuerpo sacado del punto de vista de la primera persona, como opuesto al punto de vista de la tercera persona que mira desde el exterior del cuerpo. Este término procede del griego y significa "cuerpo".

SONIDO TRIDIMENSIONAL.- La representación del sonido en un espacio de modo que se cree una sensación de localización de las diversas fuentes. El sonido tridimensional es el utilizado en la realidad virtual. Ha surgido del desarrollo de las investigaciones en psicoacústica combinado con el desarrollo del procesamiento de la señal digital.

SPACEMAKER.- El diseñador que construye el ciberespacio. Anteriormente, el término fue introducido por Autodesk para indicar la unidad de diseño y construcción por las que se generaba el ciberespacio.

SUPER COCKPIT.- Dispositivo de visualización que superpone a las imágenes reales de las informaciones destinadas al control del aparato, en un cockpit de avión de caza, la presentación de las amenazas, de los blancos e informaciones para el disparo de las armas.

SUSTANCIA.- Un término tradicional que se refiere a lo más básico, a la realidad independiente. Para Aristóteles, el color de un caballo no es una sustancia porque no puede existir independientemente, pero el caballo sí es una sustancia porque sí puede hacerlo. Para Spinoza, sólo Dios existe realmente porque sólo Dios es un ser completamente independiente. George Berkeley creía que las cosas materiales no pueden existir independientes de la

percepción, y Kant relegó la sustancia a la categoría de pensamiento humano.

TACTILO-PROPIO-CINETICO (SENTIDO).- Sentido completo vinculado al canal gestual. El sentido táctil simple informa sobre la temperatura y el estado de superficie de los objetos; el sentido táctilo-cinético, al combinar el movimiento de la mano y de los dedos con la percepción táctil simple, permite percibir la forma, la distancia, el tamaño, la deformabilidad y las articulaciones de un objeto. El sentido propioceptivo, que se agrega a los precedentes, permite percibir el peso, el movimiento...

TASA DE REFRESCO.- La frecuencia con la que una imagen es regenerada.

TELEMANIPULACION.- Manipulación de objetos a distancia mediante dispositivos de transmisión de los movimientos de un operador y, algunas veces, de las reacciones del objeto con el operador.

TELEPRESENCIA.- Las operaciones llevadas de un modo remoto mientras los usuarios permanecen inmersos en una simulación de la localización remota. Es una palabra proveniente del griego que significa "presencia a distancia". Es muy utilizado para misiones espaciales y manejo de robots en otros planetas y en situaciones arriesgadas para el ser humano tales como investigaciones submarinas a gran profundidad o manipulación de residuos nucleares.

TELEROBOTICA.- Es la telepresencia con robots.

TELEPRESENCIA ROBOTICA.- La ciencia que se ocupa de dirigir robots de forma remota. Se les conecta cámaras para resolver tareas y, de este modo, implicar el factor humano. La telepresencia robótica ha alcanzado su mayor éxito con las exploraciones submarinas y espaciales, principalmente, aunque se han manejado robots a distancia, desde hace tiempo, para manejar la basura nuclear.

TEOLOGICO.- Aquel pensamiento que tiende a igualar la realidad y el significado.

TIEMPO INTERAURAL.- Diferencias existentes entre los dos oídos de una persona con respecto a la pase de un sonido debido, principalmente, a la localización de un sonido.

TIEMPO REAL.- Simultaneidad entre la acción y el registro de un evento.

TRANSDUCTOR.- Dispositivo tecnológico que da de un fenómeno físico una imagen que contiene la misma información bajo la forma de otro fenómeno físico.

TRANSDUCTOR GESTUAL RETROACTIVO.- Transductor que da de una acción gestual una imagen eléctrica y produce a partir de una señal eléctrica, fuerzas y desplazamientos mecánicos destinados a producir sensaciones táctilo-propio-cinéticas en el operador que lo manipula.

TRACKERS.- Son los dispositivos empleados para controlar los movimientos del cuerpo, manos y cabeza del usuario a fin de dar los datos necesarios al ordenador para que realice los cambios pertinentes en el entorno.

UNIVERSO.- La colección de todas las entidades y el espacio que componen el mundo virtual.

VALORES ABSOLUTOS.- la posición y orientación dentro de un espacio virtual se mide desde un único punto constante. Si un objeto real o virtual es movido sus coordenadas previas son ignoradas, y se toman como valores absolutos la nueva posición y orientación.

VIDA ARTIFICIAL.- Fue Myron Krueger quién la definió como "un ordenador que responde a un entorno". Los sensores de un ordenador perciben las acciones humanas relacionando su cuerpo con el mundo simulado. El ordenador, entonces, genera las vistas, sonidos, y otras sensaciones que hacen la ilusión de participar en ese mundo, de un modo totalmente convincente. La diferencia de la realidad artificial con la realidad virtual, es que no necesita de guantes de datos sino que el ciberespacio rodea al cibernauta totalmente.

VIRTUAL.- Es un término filosófico que define todo aquello como lo que no es.

VISIOCASCO.- Ver HMD o casco estereoscópico.

VISIOCASCO DE SUPERPOSICION.- Visiocasco que superpone las imágenes

virtuales a la visión directa del entorno real.

VISION VIRTUAL MEJORADA.- Datos en tres dimensiones superpuestos sobre imágenes de video, generados por ordenador y visualizados mediante cascos. Es similar a la realidad pero sin contacto directo con el mundo visual primario.

VOXEL.- Un pixel en volumen cúbico utilizado como medio de cuantificar las tres dimensiones espaciales .

Capítulo 11.

EL CONCEPTO DE RETROALIMENTACIÓN: **LA INTERACTIVIDAD**

Las principales teorías comunicativas coinciden en la necesidad de un medio para transmitir señales. Este medio puede ser natural -vibraciones en el aire producidas por nuestros órganos- o artificial -en el que las vibraciones en el aire son conducidas mediante artefactos tecnológicos-. La diferente utilización de esos medios han supuesto propuestas teóricas distintas, puesto que el control del medio era, a la postre, lo que iba a decantar el poder social de un lado a otro.

Al receptor le llegan mensajes a través de un medio tecnológico. Las cualidades de dicho medio no permiten dar una respuesta inmediata, es decir, interactuar, al emisor. La televisión, el cine, la radio, son medios de comunicación donde el emisor emite un mensaje pero no permite la posibilidad de que el receptor le proponga una respuesta al mismo. La comunicación a través de un medio tecnológico se produce, hasta ahora, en un sólo sentido, representado gráficamente del modo siguiente:

EMISOR--->MEDIO--->RECEPTOR

Los medios de comunicación masivos, como la televisión, han presupuesto siempre una homogeneidad indiscriminada entre la audiencia, sin tener en cuenta las diferentes idiosincrasias de sus públicos. Actualmente, la televisión por cable o por satélite está solucionando esto mediante la oferta de canales temáticos y la televisión "a la carta" en la que se puede elegir un determinado producto y pagar sólo por él. Además se están haciendo pruebas de televisión interactiva en la que el propio espectador va eligiendo, entre unas pocas posibilidades, el desenlace de la obra que está viendo por la televisión.

Una de las razones decisivas para que se produzcan estos avances ha sido la creciente influencia de los medios informáticos en la sociedad actual, la cual exige, cada vez más, la existencia de interactividad en los propios medios de comunicación como la que se posee cuando se trabaja, vía ordenador personal, en la red Internet.

La interactividad en los medios personales de comunicación permite que personas con gustos similares, puedan comunicarse entre sí, automarginándose del resto de usuarios del sistema.

La realidad virtual ubica en un espacio todo este desarrollo interaccional para satisfacer las necesidades comunicativas que requieren de un entorno para centrar el hecho comunicativo.

La realidad virtual es el primer medio tecnológico de comunicación que permite que esta reciprocidad se produzca, creando un espacio virtual en el que las personas establecen una comunicación e interactúan entre ellas mismas, con el medio y con el espacio. El medio pasa de ser un trámite -crucial, eso sí- a constituirse en núcleo central de cualquier hecho comunicativo que en él se produzca.

El casco estereoscópico, como hemos visto, constituye una primera entrada de datos para la interactividad, puesto que al mover la cabeza se mueve todo el espacio con ella. Los guantes de datos componen el segundo paso y, a la vez, fundamental, para establecer un acto interactivo con el espacio virtual. Los guantes de datos facilitan la posibilidad de interactuar con los objetos que constutuyen el sistema y, de este modo, interactuar con el espacio virtual de un modo total. Todos los demás dispositivos de actuación -traje de datos, audio tridimensional, etc.- son una extensión mayor en el acto interactivo, con los que se acentúa la posibilidad de interacción.

El entorno en el que se genera y se mueven los personajes es totalmente figurativo, es decir, no existe como tal, siendo éste, por tanto, el principal punto novedoso de la realidad virtual en el proceso comunicativo. La diferencia con el propio lenguaje informático es que en éste, el usuario proyecta sus conceptos mentales mediante un lenguaje para interactuar con el sistema. En la realidad virtual, el usuario, experimenta con los sentidos entornos sociales (edificios, aeropuertos,...) que han sido incorporados a la máquina, para un mejor intercambio de información, donde el receptor o usuario se convierte, según sus necesidades concretas, en emisor de un mensaje que puede ser cambiado inmediatamente y de un modo interactivo con la propia máquina.

Precisamente, la realidad virtual pretende presentar un nuevo logro en el mundo de la comunicación donde sea posible la total interactividad.

La realidad virtual establece un nuevo modelo de entender las relaciones entre actores y, por lo tanto, de entender la comunicación.

Este sería el nuevo modelo de comunicación al que se podría llegar gracias a la realidad virtual:

EMISOR<==>[ESPACIO VIRTUAL]<==>RECEPTOR

La nueva posibilidad que nos brinda la realidad virtual es la siguiente: en las formas de comunicación anteriores siempre ha habido *emisor* ---> *receptor*; con la realidad virtual puede haber *emisor* ---> *receptor*, o *emisor* <---> *receptor*, o *emisor=receptor*, produciéndose en los tres casos un proceso de comunicación completo, debido a que en todos se emite y se recibe un mensaje que se va modificando según las propias necesidades del sujeto emisor, del sujeto receptor o de ambos.

Pero no sólo la realidad virtual ha revolucionado la relación entre actores, sino que también ha afectado al marco delimitador de toda representación. La comunicación actualmente está mediatizada por la pantalla. Casi todo lo que conocemos, lo que sabemos del mundo exterior nos llega a través de una pantalla de televisión o de ordenador. Desde la aparición del cine la gente ha sabido de todos los lugares del mundo a través de esa misma pantalla. Eran los comienzos de un reto en el que se conseguiría suprimir las distancias existentes entre todos los lugares del mundo, gracias al recién nacido mundo de la imagen en movimiento.

Actualmente, el uso de la electrónica ha abierto infinitas posibilidades a este proyecto de comunicación. La pantalla, es el medio de relación entre todos nosotros, pero lo que nos llega siempre es a través de ella, nunca al contrario.

Muchos autores habían intentado penetrar en la pantalla. Huxley en su libro "Un mundo feliz" nos propone lo que él denominó *cine total*, que consistía en que los espectadores podían sentir todo lo que ocurría en la pantalla, incluso, los olores y sabores de los distintos espacios. La diferencia entre el cine total de Huxley y la realidad virtual es que en el proyecto del primero, había una pantalla ó marco delimitador de la imagen; en cambio, en la realidad virtual no hay marco y esto es lo más revolucionario de la historia de la estética icónica. La realidad virtual destruye la delimitación del marco y lo que su concepto suponía.

Toda la historia del arte occidental está basada en la distinción y diferenciación psicológica, perceptiva y estética entre el observador y lo observado; el sujeto y el objeto; la mirada y lo mirado. En cambio, en la realidad virtual, al no haber marco de aislamiento se produce una confusión entre observador y observado, la mirada y lo mirado.

La externalidad propia del análisis estético -toda la teoría estética desde Platón está basada en asumir que aquello que se observa es otra cosa, es decir, que no soy yo- se destruye. Todo el oficio del arte que arrancó en Platón se derrumba, porque ya no estamos juzgando algo externo, sino que estamos inmersos en algo que nos rodea. Por tanto, todo el paradigma estético occidental entra en crisis.

De aquí parte la diferenciación entre dos conceptos. Por una parte el simulacro o todos

aquellos objetos que se copian o imitan del mundo como, por ejemplo, la pintura, el bodegón, desnudo, fotografía, etc.; por otro lado nos situamos en la simulación que incluye al propio sujeto en la ubicación del espacio. Esta diferencia es fundamental y es lo que realmente ha aportado a la interactividad y, a la comunicación en general, el mundo de la realidad virtual.

Además, al traspasar la pantalla tenemos la posibilidad de interactuar con todos los elementos que componen el espacio. Según Román Gubern, cuando tratamos la interacción de la imagen infográfica hablamos de interacción conceptual: yo interactúo con el programa, con el teclado, etc, mediante conceptos previamente aprendidos. En cambio en la realidad virtual hay interacción sensorial, es decir, todo mi cuerpo, físico y sensorial, interacciona con un sistema que me permite la posibilidad de intercambio de datos. Baudelaire, hace un siglo, nombró esto como *"Paraísos artificiales"* en su celeberrimo libro.

Cualquier relación comunicativa, en estos paraísos artificiales, provoca cambios en los demás y en el sistema total, pero también provocan una reacción en el sujeto emisor dependiendo de la respuesta recibida.

La interacción no es algo exclusivo de la realidad virtual. La comunicación intrapersonal es, por definición, un acto interactivo. La interacción o interactividad, según Watzlawick, es definida como una serie de mensajes intercambiados entre personas. Los sistemas interaccionales, según el mismo autor, son constituidos por dos o más comunicantes en el proceso o en el nivel de definir la naturaleza de su relación.

Los sistemas interactivos son abiertos, es decir, sus componentes también interactúan con otros sistemas. La realidad virtual crea mundos artificiales en el que todos y cada uno de los componentes intercambian o, al menos, tienen la posibilidad de hacerlo, mensajes o contenidos. Aún teniendo esta opción, la realidad virtual, en su aspecto comunicativo, da un paso más allá, puesto que las reglas rígidas que marca el grupo social en una comunicación natural pueden ser modificadas según los gustos o necesidades de los componentes que intervienen en cada uno de los sistemas artificiales creados. Los cibernautas o actores artificiales no tienen la necesidad de conocer un lenguaje hablado que imposibilitaría la acción de un actor que desconociera el mismo, sino que al situar la interacción en un universo visual podemos utilizar códigos icónicos cuyo conocimiento es bastante más conocido, gracias a la implantación universal del mismo por los medios de comunicación de masas.

Internet ha supuesto un paso adelante en la comunicación global. Todos podemos comunicarnos con todos emitiendo mensajes hacia cualquier dirección que pueden llegar a ser respondidos desde cualquier parte. No hay un emisor y un receptor bien diferenciado, sino que todos somos a la vez emisores y receptores totales de los mensajes. La realidad virtual, el mejor interfaz para interactuar con el espacio artificial que se crea en el universo comunicativo de las

grandes redes, facilita la acción comunicativa al sustituir el mundo del lenguaje por el de las imágenes. El poder de las imágenes radica en que, gracias a su carácter icónico, se trabaja con conceptos puros. La falta de conocimiento de un código lingüístico como requerimiento principal para interactuar con un espacio artificial de información posibilita la acción de crear universos simbólicos, en el que los actores se desenvuelven plenamente mediante imágenes que son fácilmente comprensibles para cualquier actor de cualquier sistema lingüístico. Se busca, en realidad, un universo de interacción comunicativa en el que, impedimentos como el conocimiento lingüístico, sean evitados.

Cualquier sistema interactivo posee, no obstante, cuatro características fundamentales: solidaridad, retroalimentación y circularidad, equifinidad y simetría y complementariedad. El espacio virtual, al ser un sistema interactivo, también las posee.

El principio de solidaridad se refiere a que el cambio en uno de los componentes afecta a los demás. Cada conducta y cada mensaje depende de las conductas y mensajes de los demás. Cada variable afectada debe ser tomada en cuenta para analizar la estructura comunicativa del grupo. Si uno de los actores rompe un vínculo con uno de los otros actores, esto afectará a todo el grupo. En un espacio interactivo artificial, como es el ciberespacio virtual, cada uno de los participantes está en perfecta comunidad con los otros pues, de otro modo, el sistema terminaría por no consolidarse como espacio comunicativo. Si uno de los participantes interfiere en el espacio, el principio constitutivo del mismo se siente afectado y, por consiguiente, todos los demás miembros tendrían que modificar su aspecto comunicativo con respecto a los demás e, incluso, con el propio sistema. En un espacio virtual no hay códigos, propios de la normativa lingüística, pero existen unas determinadas pautas de comportamiento que el usuario debe respetar para que los mensajes puedan fluir de unos a otros con un criterio factible al desarrollo normal de la comunicación. El espacio virtual es algo que puede cambiar indefinidamente en cuanto a su forma, pero no en cuanto a su estructura puesto que al intentar simular el espacio real debe adaptar algunas normas de representación necesarias, extraídas del propio mundo real. En un mundo virtual, por tanto, no todo es aleatorio y sujeto a cambios instantáneos.

El principio de retroalimentación consiste en que cada mensaje emitido es retroalimentado por un nuevo mensaje de respuesta que, a su vez, provoca nuevos mensajes. Este principio de circularidad implica tanto al emisor como al destinatario, puesto que si A afecta a B, B afecta a A. Los sistemas interactivos, por tanto, no se comportan de forma unilateral y sumatoria, sino que si los representáramos de forma gráfica tendríamos que dibujar un círculo en el que cada punto del mismo estaría en completa correlación con todos los demás.

Bateson y Jackson al estudiar los sistemas interactivos observaron que una serie de comunicaciones pueden entenderse como una secuencia ininterrumpida de intercambios y que, sin embargo, quienes participan en la interacción siempre introducen lo que ellos han llamado puntuación de la secuencia de hechos.

En toda secuencia de intercambios resulta que cada ítem de la misma es al mismo tiempo estímulo respuesta y refuerzo. Los participantes establecen patrones de intercambio mediante los cuales uno de ellos tiene la iniciativa, el dominio, la dependencia, etc., respecto a los demás. En el sistema CAVE de Carolina Cruz-Neira no todos los usuarios gozan de un mismo rol, sino que hay uno de ellos que hace de guía para los demás. Todos los participantes gozan de una total interactividad con el mundo virtual, pero es uno de ellos el que ejerce el papel de maestro de ceremonias para permitir al sistema una total respuesta al usuario y evitar la suma de mensajes en un mismo momento comunicativo, lo cual llevaría a la confusión más absoluta para todos los usuarios. No obstante, esto no es único de los sistemas interactivos, puesto que en todo hecho comunicativo hay actores que ejercen un rol de influencia con respecto a los demás actores. En teoría de comunicación se les denomina líderes y a sus seguidores se les llama adeptos. En la CAVE se produce un hecho comunicativo interactivo bastante claro donde cada actor asume claramente su rol, aunque éste sea impuesto por el propio funcionamiento del sistema, y en la que la naturaleza de la relación depende de la puntuación de las secuencias entre los comunicantes, es decir, si hay un mayor o menor aceptación del rol de cada uno y si todos los participantes cumplen adecuadamente las normas de funcionamiento del sistema.

La equifinidad en un sistema interactivo se refiere a que idénticos resultados pueden tener orígenes distintos, ya que lo decisivo es la naturaleza de la organización. Todo sistema interactivo está representado de un modo circular lo que implica el que cualquier modificación en el mismo se produce y se resuelve dentro de él, independientemente de las circunstancias que rodeen al mismo. No importan tanto las condiciones iniciales que determinan un resultado puesto que, en principio, no existen, sino que lo fundamental es la naturaleza organizativa del sistema. También se produce, en estos sistemas abiertos, el hecho contrario: que una misma causa produzca diferentes resultados e, incluso, que los resultados sean totalmente independientes de las circunstancias iniciales. Los sistemas cerrados producen un resultado dependiente de dichas causas.

Los mundos virtuales se construyen con el fin de generar acciones para crear resultados. Todas las aplicaciones se basan en este principio. Si estamos en un edificio virtual es para verificar, antes de ser construido, que todas las características del edificio proyectado son válidas para satisfacer los gustos y necesidades del cliente. Además, se aporta la posibilidad de

que el comprador pueda cambiar a su gusto aspectos del mismo con lo que el resultado es diferente de lo que fue la génesis del edificio. En este caso, el edificio es el sistema en el que todo acaba y todo empieza y donde cualquier modificación del mismo no parte de un punto sino que en cualquiera de sus partes podemos interactuar para configurar un nuevo modelo sin necesidad de tener que construir el espacio desde el principio. Los usuarios cambian, modifican y, en definitiva, interactúan con todos y cada uno de los componentes del mismo en un comienzo y un fin continuo.

La realidad virtual, como hemos visto, es un espacio siempre circular, en el que no existe ni el principio ni el fin y en el que los resultados y la propia morfología espacial van cambiando a medida que se establecen hechos comunicativos dentro del mismo. El diseñador del entorno crea un espacio abierto en el que las cualidades del mismo puedan estar sujetas a cambios propios de todo hecho comunicativo. La propia interacción con el mismo tiene que abrir cualquier posibilidad de modificación en la naturaleza del espacio virtual puesto que la comunicación interactiva exige que cualquier aspecto del sistema pueda estar sujeta a cambio.

No obstante, la estructura del espacio debe ser rígida puesto que debe estar claro, en cada momento, en que punto del mismo nos estamos moviendo. El círculo imaginario con el que se puede representar el espacio interactivo virtual debe estar definido claramente puesto que, debido a las necesidades comunicacionales, se necesita de un "guión" que marque el desarrollo de la interacción y que permita establecer una reciprocidad para que todo el proceso interactivo sea concluido. He aquí donde entra la cuarta característica de todo sistema interactivo: la simetría y complementariedad.

Toda persona que interactúe con un sistema interactivo, como son los mundos virtuales, recibe y aporta algo al mismo. Sin este principio cualquier sistema interactivo dejaría de existir como tal. En este intercambio recíproco se pueden detectar dos fenómenos: la interacción simétrica y la interacción complementaria.

La interacción simétrica se basa en relaciones de igualdad en la que los participantes tienden a igualar su conducta recíproca, mientras que en la interacción complementaria se produce una conducta desigual, en la que uno de los participantes complementa al otro, por lo que este tipo de interacción está basado en un máximo de diferencia entre actores. Hay un actor que ocupa la posición superior o primaria y hay otro que ocupa la posición inferior o secundaria, lo que no quiere decir que un actor domine a otro sino que uno ejerce un papel más preponderante en un determinado momento del hecho comunicativo que el otro, pero los papeles pueden cambiar en cualquier momento. La CAVE de Carolina Cruz-Neira es un claro ejemplo de ello y cumple este precepto de la interactividad a pies juntillas. Este factor favorece la interactividad puesto que cada actor tiende a facilitar la conducta del otro y viceversa, por lo

que los resultados son mejores ya que aunque uno dirija, los otros asumen papeles complementarios para implementar el hecho comunicativo.

Los factores que perpetúan una interacción entre actores, según Watzlawick, son la motivación (el interés recíproco entre actores), y el simple hábito de mantener la relación, el efecto limitador de la relación, es decir, la progresiva disminución del intercambio comunicativo a medida que pasa el tiempo que equilibra la relación y la estabiliza.

En los sistemas estables, como son los interactivos, los participantes se ofrecen entre sí definiciones de su relación. Cada uno trata de determinar la naturaleza de la relación y, a veces, trata de imponerla, confirmando, rechazando o modificando la definición de relación que tiene el otro. En un sistema virtual todos los participantes deben establecer el tipo de papel que desean asumir para que no haya problemas de asunción de roles en el mismo entorno. Si no quedan claras ciertas normas de comportamiento la relación entre los actores podría llegar a disolverse. Jackson ha llamado *regla de la relación* a la estabilización de este acuerdo.

En el caso de la CAVE este acuerdo viene predeterminado por el propio funcionamiento del sistema que define claramente el papel de cada uno de los cibernautas. De todos modos, en toda interacción se tiende a institucionalizar los roles en las relaciones, desarrollando ciertas expectativas y ciertas interpretaciones estandarizadas. Las relaciones interpersonales, que también son totalmente interactivas, generan estas normas de control por lo que, no es extraño, que en los mundos virtuales que, en el fondo, se parecen mucho a los reales en cuanto a pautas de comportamiento, se creen estas pautas de conducta.

El usuario informático, en general, establece tres modelos de operatividad con los ordenadores: flujo hombre-máquina, flujo máquina-hombre y flujo máquina-máquina. Pero esto no hace explícita la existencia de interactividad, puesto que no cumple las características de la misma, sino que se produce autoactividad, es decir, hay una relación emisor-receptor en un sentido lineal y no circular, como sería propio de la interactividad.

Por último, la tecnología interactiva está cambiando los planteamientos socioculturales al introducir nuevos medios, como la realidad virtual, para establecer relación comunicativa. Esta tecnología avanza a una velocidad tan exagerada que la sociedad no es capaz de asimilar. El orden sociológico, por tanto, queda en parte falto de consistencia y, en este punto, es fácil que el poder de quienes desarrollan la tecnología se implante al resto del mundo, sin que éstos puedan hacer nada por pararlo. Los gobiernos aún no saben como controlar Internet y están buscando vías para poder hacerlo sin dañar los principios constitutivos de la red. La cantidad de dinero que proporciona la interactividad en la red hace que el futuro de la realidad virtual no sea algo a muy largo plazo, sino que a los propios investigadores les interesa desarrollar los espacios interactivos más perfectos para poder llenarlos de publicidad.

La pantalla, actualmente, es el eje estructurador de la vida social y la realidad virtual va ha hacer posible que interactúemos con ella, llegando incluso a la inmersión en la misma. La sociedad en lugar de abrirse a la realidad, prefiere sumergirse en las profundidades de mundos imaginarios. Para ello, es preciso imitar el comportamiento humano en la vida natural y, la interactividad con el entorno, es una de esas facetas claves a conseguir.

De todos modos, la realidad virtual se puede convertir en el medio perfecto para evitar cualquier barrera comunicativa entre individuos de distintas lenguas, lo que supone un paso más en la conquista de la "aldea global" de Macluhan y una democratización mayor de la comunicación, lo que supone un acercamiento evidente entre la humanidad.

Capítulo 12.

LA “COMUNICACIÓN POSTSIMBOLICA” DE JARON LANIER

Hablar sobre realidad virtual implica, necesariamente, acordarse de la persona de Jaron Lanier. Él fue la persona que acuñó el término *realidad virtual*, así como el de *comunicación postsimbólica* que definió como un intercambio de imágenes y sonidos.

Su aportación se implementa con una gran contribución a la tecnología virtual. Fue el inventor del guante de datos con el que se ha basado el posterior desarrollo tecnológico de la realidad virtual; fundó VPL, la empresa pionera en esta nueva tecnología y que fue absorbida por Thompson; creó el primer entorno en el que participaron varios cibernautas y el primer entorno comercial de la realidad virtual.

La importancia, por tanto, de este investigador está fuera de toda duda. Todo esto unido a su forma de ser un tanto excéntrica y, por lo tanto, adecuada a esta nueva tecnología, le han hecho valedor del título de *gurú* de la realidad virtual y considerado mundialmente como uno de sus grandes padres.

Jaron Lanier acuña el término *comunicación postsimbólica* como nexo de unión entre un nuevo medio tecnológico interactivo y el aspecto comunicativo que éste implica. El nuevo medio tecnológico que supone la realidad virtual implica, para Lanier, es *lo que ocurre cuando tienes a más de una persona dentro de un mundo en el que interactúan*. La importancia de esta definición radica en que para el autor no toda interacción con un ordenador es realidad virtual sino que es necesario la concurrencia de varios navegantes interactuando en el mundo sintético para que se produzca el hecho de la realidad virtual. El concepto de *global* y no de *unidad* se convierte en algo esencial para definir el fenómeno, que siendo más social y menos individual, radica en la base de que el hombre nunca está sólo sino que continuamente interactúa con el medio y con los otros hombres. La realidad virtual es, por tanto, un hecho comunicativo en el que se necesita, como mínimo, de un emisor, un receptor y un medio. No obstante, hoy en día, la interacción entre varios usuarios es bastante difícil de conseguir.

Lanier confirma la necesidad de implicar la realidad virtual con el hecho perceptivo ya que es el cerebro, gracias a la información proveniente de nuestros sentidos, el que está, día a día, construyendo la realidad en la que vivimos. Cita como ejemplo que nuestro ojo tiene un punto negro donde no ve nada; sin embargo, nosotros este hecho no lo apreciamos

ya que donde no deberíamos ver nada nuestro cerebro con la información que le suministran los sentidos crea algo para que percibamos la realidad que nos rodea como un todo. Estos parámetros perceptivos deben ser conocidos e imitados por todos aquellos que intenten generar espacios virtuales. La percepción, por tanto, es algo activo y no pasivo.

La realidad virtual debe proporcionar las pistas necesarias para que el cerebro procese esa realidad como algo que funciona.

Para Lanier, la realidad virtual es la prueba de fuego por la que podremos conocer el funcionamiento de la percepción humana, puesto que se crean mundos basados en percepciones creíbles para la mente humana, para que así sean considerados como reales en nuestro cerebro mundos creados por una máquina.

El peligro que encierra el perfecto conocimiento de la percepción para la creación de mundos artificiales, es la posibilidad de manipulación sensorial a través de nuestros sentidos para crear dependencias nocivas para el ser humano. Este punto será, no obstante, tratado con más profundidad más adelante.

Los niños están continuamente conociendo sensaciones nuevas. Esta es la base de su madurez psicológica. El principal medio de conocimiento se produce a través del juego, en el que constantemente crean mundos fantásticos. Para Jaron Lanier esta es la principal argumentación para explicar que les encanten los juegos interactivos, puesto que juegan en mundos totalmente irreales y quiméricos donde todo, absolutamente todo, es posible. Se abren, por tanto, nuevas posibilidades a la hora de desarrollar su imaginación.

La realidad virtual se puede convertir en el medio apropiado de aprender nuevas sensaciones que implementen tu hecho perceptivo. Es un medio que te llena de sensaciones que están en otro lugar distinto al habitual y que son totalmente manipulables. Se refiere a la memoria de un ordenador en la que pueden estar enganchados varios usuarios que tengan sensaciones diferentes según su educación perceptual, a partir de un mismo espacio creado artificialmente.

Un sistema de realidad virtual te permite crear esto, a la vez que te brinda la posibilidad de interactuar con todas las facetas de ese mundo. Sistemas cerrados, es decir, con limitaciones en la interacción, no son verdaderos sistemas de realidad virtual, para Jaron Lanier.

El autor también se centra en los sueños como aspecto mental con posibilidad de recreación virtual. La mente humana tiene sueños que somos incapaces de compartir con los demás. Soñamos única y exclusivamente para nosotros y no hay posibilidad de poder interactuar dentro de ese aspecto mental. Para Lanier, la realidad virtual tiene este potencial y además para hacerlo de un modo bastante sugerente.

El ser humano tiene un estado de vigilia y otro de sueños perfectamente definidos por Freud (1988, 109). En el primero se *atiende a las reglas de la razón y la lógica, y toma en cuenta incluso las condiciones del mundo exterior*, mientras que en el segundo *dirige*

sus pasos hacia la obtención exclusiva del placer y es, en este estado, en el que podemos encontrarnos con un sistema de pensamiento común a todos los hombres, que perdura en el inconsciente después de haber aprendido a reconocer la razón y la lógica.

El mundo de los sueños es un proceso elaborado completamente en el cerebro. Éste funciona mediante conexiones eléctricas entre neuronas como hemos visto en el capítulo 4 sobre percepción visual. Si los científicos fueran capaces de dirigir y controlar estos estímulos hacia un ordenador, no sería nada complicado el tratar de interactuar con estas imágenes mentales en tiempo real, gracias a la aplicación de la tecnología de la realidad virtual. Además, la propia naturaleza de los sueños, según Freud, convierte a esta tecnología como la más adecuada para la realización de una de las conquistas más anheladas por el ser humano: poder interaccionar con su propia imaginación, que es la base de su cultura.

Desde los griegos se han escrito epopeyas que cuentan las heroicidades de personajes que no eran más que la propia encarnación de los sueños de los poetas hechos hombres. Estos héroes interactuaban con todo y viajaban a mundos donde los sueños se hacían completamente realidad. La *Ilíada*, donde dioses soñados y realidades humanas se confunden, es la base literaria que sustenta la creación de mundos soñados con los que el hombre, continuamente, se ha propuesto interactuar. Esta tradición histórica y cultural se hace más cercana con una tecnología que puede llegar a crear realidades soñadas en las que intervenir plenamente y, por supuesto, de un modo consciente.

La escritura hizo de Homero el padre de la tradición mítica, puesto que fue el que reunió en la *Ilíada* y la *Odisea* la tradición oral de los pueblos griegos. El cine fue un gran paso adelante en la conquista tecnológica de este logro, puesto que el espectador podía percibir mundos creados por distintos artistas. No hay que olvidar que el género de ciencia ficción alcanzó un gran desarrollo en los principios del cine, con películas como "Viaje a la luna" de Méliès o "Nosferatu, el vampiro" de Murnau. El problema es su falta de interactividad con esas realidades debido a impedimentos tecnológicos. La realidad virtual, como último gran paso adelante en el tratamiento tecnológico de los modos de narrar, supera este abismo y puede llegar a hacer posible la interactividad plena con mundos soñados que, incluso, pueden llegar a ser creados por el propio actuante. Ya no hay intermediarios, sino que es el individuo el que maneja y controla su inconsciencia en mundos artificiales generados por un ordenador.

Kirk (1984, 83) afirma que *el pensamiento mítico está íntimamente ligado con el pensar en imágenes y similares. Psicológicamente hablando, ambos difieren del pensamiento lógico, las figuras de los mitos y las imágenes de los símiles irrumpen completamente formados en la imaginación. El pensamiento lógico es de una lucidez incomparable; el pensamiento mítico está en la frontera del sueño en que las imágenes e ideas flotan sin control de la voluntad.*

La realidad virtual es un mundo artificial de imágenes que pueden ser creadas a

partir de la propia imaginación para llegar en un futuro, quien sabe, a mundos que no sean meras fábulas, sino verdaderos puntos de encuentro y reunión entre soñadores de todas las culturas y partes del planeta. Pero esta idea es, en su propia concepción primigenia, un mito o, quizás, un sueño.

Lanier afirma que si tratáramos de diferenciar las realidades virtuales de los mundos físicos, podríamos centrarlo en dos puntos fundamentales:

<u>REALIDAD VIRTUAL</u>	<u>MUNDO FÍSICO</u>
1) Menor calidad	1) Mayor calidad
2) Infinitamente fluida para ser cambiada	2) Muy estática y se resiste

La realidad virtual es un hecho fluido porque es un interfaz directo, totalmente subjetivable al usuario, para el trato con la información; no creo que el hecho de ser tratada por Lanier como realidad absoluta, es decir, mundo en el que te puedas integrar, la confiera de tal categoría. Lanier da por supuesto que la realidad virtual tiene un tiempo y un espacio idénticos a la realidad, es decir, fijos. Esto no es cierto, puesto que el principio fundamental de la realidad virtual es la manipulación y control del espacio y tiempo, mientras que en el mundo físico no se puede controlar ninguno de estos parámetros, tan sólo medir. Por tanto, esta comparación no está bien planteada en su origen.

No obstante, es en este punto donde la realidad virtual empieza a jugar un papel crucial en el desarrollo de esta encrucijada de creación de realidad. La manipulación del espacio es algo ya real, mientras que el tiempo está sujeto todavía a problemas técnicos, que dan como resultado latencias que estropean la total integración en ese mundo ficticio

por problemas en la percepción. El hecho claro es que podemos vivir y compartir una realidad antes de que esta sea creada: un arquitecto te puede mostrar tu casa antes de que empiece a ser construida. Ese espacio, además, puede ser modificado en tiempo real, lo cual se convierte en una idea bastante atrayente para el ser humano. Podría ser llamado algo así como la *liberalización de la manipulación*, puesto que ya no son unos pocos los que poseen los medios para construir realidades sino que, gracias a la facilidad de manejo de este interfaz, cualquiera puede sumergirse en la fascinante idea de crear mundos artificiales. La alta tecnología deja de convertirse en algo exclusivo de especialistas para pasar a ser objeto de uso doméstico, lo que le conferiría una libertad que ahora no tiene.

Esto, que a priori, podría parecer una mejora sustancial en el desarrollo social, puede llegar a desbordarnos de un modo tal que nadie tendría la necesidad de crear la realidad fáctica de las cosas -en el ejemplo anterior, el edificio físico para vivir- sino que tan sólo necesitaría un edificio virtual inmerso en un cubículo real con un ordenador, para vivir de una forma bastante más acogedora que en el edificio real, ya que en el virtual podría estar intercambiando y modificando todos los aspectos que deseara en cualquier momento.

A pesar de todo, esto no se dará en un futuro próximo ya que la tecnología aún no permite estas vicisitudes. El futuro es algo incierto, aunque como ha pasado con todas las nuevas tecnologías la mente humana termina por asimilarlas de tal forma que siempre se sitúa por encima de ellas, para así mantener siempre fuerte ese espíritu de supervivencia que le ha hecho ser la especie más desarrollada del planeta.

Uno de los aspectos más característicos del ser humano es su capacidad para el lenguaje. Este punto ha sido fundamental en la evolución humana. Para Lanier *el lenguaje es el proyecto más importante de nuestra especie llegando a tener, incluso, parte del cerebro especializada sólo en esta faceta*.

El hombre sentó las bases de su espectacular desarrollo evolutivo en el hecho de que el progreso de su comunicación fue de una relevancia total. El hombre evolucionaba a base de mejorar su sistema comunicativo, hecho que se transformaba en una sustancial mejora de los utensilios que les eran útiles a sus necesidades.

Nació el lenguaje y sirvió como forma de canalizar las vías comunicativas en una serie de códigos y normas que todos debían aprender para que así esta comunicación uniera a los distintos pueblos y fuera pasando de padres a hijos, siendo mejorada generación tras generación.

Poco a poco la historia ha dado la razón. El lenguaje ha engranado y unido diversas culturas menores para dar grandes culturas; un ejemplo contundente es el del latín y la gran cultura mediterránea.

El imperio romano hizo de su lengua uno de los mejores medios para imponer su poder sobre el resto de los pueblos. Consiguio un vasto imperio en el que todos los que lo

componían tenían una unidad: el latín. Se intentó que fuera un modo universal de sistema de comunicación, en el que todos los componentes tuviera un mismo código. Pero la evolución de cada pueblo tomó caminos separados y surgieron muy diversos idiomas de un mismo tronco. El imperio romano fue desapareciendo a medida que esto ocurría. ¿Simple casualidad?

El hecho es que, actualmente, hay una diversidad lingüística muy rica, no sólo en el mediterráneo sino en todos y cada uno de los rincones del mundo. Esto es un problema a la hora de plantear un universo sociocultural basado en la información, puesto que el lenguaje es la base en la que se debe sustentar.

Tan sólo hay un modo de superar las barreras lingüísticas. Esto es, creando un código que no necesite de un aprendizaje especializado para que la decodificación sea totalmente instantánea. La imagen cumple estos requisitos necesarios. Sea cual sea tu lengua, la imagen de un árbol es común para todos.

La idea de crear una aldea global basada en una unidad sintáctica y semántica única constituida en imágenes, hace del mundo de la informática un soporte ideal por su facilidad para trabajar con este código.

Jaron Lanier insiste en la necesidad de que, a pesar de que sea un gran sueño que poco a poco se va haciendo realidad, exista una mayor conjunción entre todos los investigadores de realidad virtual a la hora de crear estos códigos universales. Afirma que *las palabras existen por fallos en nuestro mundo físico ya que, por ejemplo, no puedo viajar a Marte pero si puedo decir que ayer por la noche viajé a Marte*. Es aquí donde surge la *comunicación postsimbólica*.

En un mundo virtual, donde todo es intercambiable, se dará un nuevo tipo de comunicación en el que puede ocurrir cualquier cosa, pero que en ningún momento sustituirá al lenguaje. Cuando Lanier se refiere a este hecho de que puede ocurrir cualquier cosa, creo que da a entender que es tan novedoso y tan maravilloso el nuevo concepto de comunicación del que estamos hablando que ni siquiera los propios investigadores y teóricos -como puede ser el propio Lanier- llevan a alcanzar totalmente la magnitud del poder de este nuevo tipo de lenguaje visual.

En el nacimiento del cine nadie podía prever que se convertiría en ese medio de masas en el que se ha convertido, revolucionando por completo la comunicación interpersonal al establecer códigos que se han hecho comunes para el resto de la comunicación interpersonal.

La realidad virtual es un interfaz perfecto que propone nuevos tipos de comunicación donde la imagen prevalece sobre la palabra.

El cine ha demostrado sobradamente que la imagen es más unificadora que la palabra. Las películas mudas de blanco y negro han hecho llorar, reír, etc., sin necesidad de la palabra, a cualquier ser humano fuera del país que fuera.

Cassirer define el término *simbólico*, en Martín Serrano (1982, 48), como *la capacidad específica de los Actores humanos para crear, expresar y comprender las ideas abstractas y los valores morales*. Según este autor, el único lenguaje natural apto para esto es el habla.

Sin embargo, con el nacimiento de la comunicación postsimbólica, o lo que es lo mismo, una comunicación donde se puede operar directamente con símbolos, el habla queda como algo secundario en la construcción del hecho comunicativo. La imagen se convierte en el motor de la comunicación. Si se establecen códigos visuales para las ideas abstractas y los valores morales, todo el ciclo de un único lenguaje universal se da por concluido.

El camino está bastante dirigido gracias al poder de comprensión por parte de todo el mundo del lenguaje visual debido, principalmente, a que el cine y la televisión se han convertido en unos medios de masas con una fuerza extraordinaria, siendo los principales maestros en la educación visual.

Lanier concluye asegurando que esta nueva concepción del lenguaje como medio de relación entre los hombres implicará una nueva filosofía de la vida intersocial, donde, por ejemplo, si queremos saber que es el rojo podríamos tener un cubo enorme con todo el rojo del mundo y así poder tener todo el abanico de posibilidades para que toda el mundo comprendiera que estamos tratando de decirle que el objeto del cual estamos hablando es de color rojo.

La comunicación postsimbólica abre una gran paisaje a explorar en el mundo de la comunicación, en el que todos los profesionales de las distintas áreas -tanto de las que se vaya a aplicar la realidad virtual como los propios teóricos del tema- deben intervenir de una forma más o menos determinante.

La realidad virtual como la televisión es un interfaz donde se puede manipular, tratar y adquirir información. Lanier también tiene en cuenta la posibilidad de que la realidad virtual se pueda convertir en una supertelevisión, o que acabe con ella y sea un medio donde se comparta la imagen y no tan sólo la información, que es lo que ocurre actualmente. Sería un universo ficticio en el que podrían operar un número ilimitado de cibernautas. La red mundial Internet es el primer sistema de comunicación global en el que esto ha sido posible, con un resultado bastante exitoso. El hecho es que esto ya no es un sueño, sino un hecho constatado en el que lo único que habría que cambiar serían las palabras por imágenes.

Jaron Lanier es, como hemos citado anteriormente, el gurú de la realidad virtual. Intenta abarcar todos los campos de influencia de esta nueva tecnología y, una de ellas, es la música. Para él, la realidad virtual es un interfaz bastante útil a la hora de componer. El mismo interpretó un concierto consistente en una serie de instrumentos virtuales (arpas, saxofones,...) que iban conservando una melodía cuando no se interactuaba con ellos. De

este modo, se iban generando sonidos que todos juntos formaban lo que Lanier mismo denominó como *concierto virtual*.

Sin embargo, ¿cómo se puede conseguir interpretar un instrumento musical si no se puede tocar entre las manos? ¿Debe resultar bastante complicado sacar todos los tonos en un instrumento que depende de cómo pongas los dedos para oír un sonido u otro? Lanier solucionó esto mediante lo que él denominó como *simulación de control*, que consistía en que, por ejemplo, el saxofón virtual decide, según la posición de la mano, si le estoy tocando y, de este modo, no lo atravieso nunca. Este proceso que parece muy sencillo es lo que hace que la realidad virtual funcione, y supuso uno de los grandes pasos aportados por Lanier al desarrollo de esta tecnología.

Tácticas tan simples como ésta en la que es la propia posición de la mano la que determina una interacción en un mundo virtual, resultan bastante interesantes para ahorrar memoria a la máquina y poderla usar para disponer de más capacidad de trabajo para la resolución visual de los ciberespacios. De este modo, también, el usuario se puede sentir más involucrado en un ciberespacio al tener que aprender unas pautas de comportamiento para su interacción en el mundo virtual, tal como debe aprenderlas en el mundo real para su integración en la sociedad.

Lanier da por sentado que el ciberespacio está influido del mundo real en dos aspectos: es un enorme banco de datos y es de donde le llegan los instrumentos de operación, es decir, el software y hardware. El mundo virtual, por tanto, está más definido que el mundo físico. De este modo, lo que llega a nuestros sentidos antes del cerebro se puede almacenar en un ordenador, por lo que podríamos repasar toda nuestra vida si la tuviéramos almacenada en un ordenador.

A Lanier, como a casi todos los expertos en realidad virtual, les gusta divagar acerca del futuro. No obstante, esta apreciación sobre el almacenamiento de datos previo a la llegada a nuestros sentidos supone un esfuerzo teórico mayor. Este hecho visto así supondría la desaparición del pasado como entidad temporal, ya que en cualquier momento de nuestra vida podríamos volver a revivir un hecho que nos ocurrió en el pasado; es más, podríamos vivir el pasado de cualquier otra persona desde nuestro cuerpo unido a ese ciberespacio temporal, ya que contaríamos con nuestros datos y el de muchas otras personas. Contaríamos con una especie de máquina del tiempo, pero en sólo dos de sus medidas, el pasado y el presente. El primer problema que se nos ocurre es el de control de todos esos datos puesto que no sería nada complicado el cambiar el pasado de la gente y hacer creer a una persona que tuvo un pasado diferente al que realmente tuvo.

En una sociedad de la información, como la que vivimos, el manejo de datos es algo fundamental. Las grandes redes, Internet es el más claro ejemplo de ello, agrupan distintos tipos de culturas y sociedades en una sólo. Las leyes que regulan esto no están todavía muy definidas por tratarse de un tipo de información muy general. Si empezamos a

tratar con datos de personas concretas no podemos dejarlo al libre albedrío. Se debe contar, por tanto, con una regulación legislativa bastante definida. La red Internet basa su éxito en su propia autarquía y anarquía, lo que se contrapone a unas leyes que son, en cualquier caso, controladoras. La manipulación de información es algo a lo que estamos acostumbrándonos cada vez más y contar con este tipo de redes, cuya principal meta es el comercio de datos, nos lleva a entrar en las leyes del mercado. Pero si entramos con datos personales se deben crear leyes en defensa del individuo de una forma clara y rotunda para no desamparar el propio espíritu del sentido democrático que, no olvidemos, muchas veces olvida el uso de la tecnología.

Debemos tener claro que quien posee la tecnología posee la información y, en consecuencia, el poder.

La realidad virtual no es más que un interfaz de comunicación con datos. El modo más cómodo de gestionarlos es integrarse en ellos. Lanier asegura que la *persona virtual*, es decir, amoldar nuestro cuerpo a cualquier forma y manera para esta interacción es el mejor medio.. Según su propia experiencia a la gente no le molesta e, incluso, le gusta ser una langosta o tener doce brazos, etc, llegando a pensar, a veces, como el ente al que representa su cuerpo virtual, es decir, empiezan a pensar como solucionaría una langosta la situación a la que se ven sometidos.

Lanier define a la persona virtual como *una onda continua cambiante*. Si podemos ser un gato, un león o un cuerpo amorfo sin ningún tipo de definición condicional, lógicamente, nuestra forma de situarnos frente a ese mundo matemático que se nos viene encima y que nosotros sentimos como algo real que nos rodea y que perturba nuestro entorno. La mente humana está acostumbrada a construir la realidad partiendo de que tenemos dos brazos y dos piernas y no podemos volar, que tenemos unos ojos que nos hacen ver y a los cuales hay que dar órdenes para que vayan mirando a donde nos interese, una boca por la que hablamos, etc. El no tener necesidad de tener brazos y piernas, poder volar, no necesitar la boca para hablar, etc, modifica enormemente nuestra manera de entender la realidad como algo que está sujeto siempre a una serie de normas que día a día vamos aprendiendo, y que en los mundos virtuales pueden desaparecer o establecerlas nosotros según nuestra forma de entender la realidad que nos queramos construir. Las leyes perceptivas dejarán de estar sujetas a estos criterios para llegar, incluso, a desaparecer tal como las conocemos hoy. No obstante, para Lanier, la realidad virtual no es adictiva ni daña al cerebro. El no cree que haya los mismos problemas que con las drogas, ni que se tenga la necesidad de crear una contracultura.

Actualmente es impensable el hecho de que la realidad virtual cree adicción; la razón más evidente es que los equipos son todavía muy incómodos para tenerlos puestos durante horas y horas como si estuviéramos *enganchados*. Sin embargo, este problema tecnológico se suplirá con gran facilidad en un futuro no muy lejano, con la construcción de interfaces

más ligeros. Además el grado de inmersión de los actuales equipos no es todavía el más idóneo para crear una sensación de dependencia, aunque, este problema también se puede superar.

Entonces, ¿se podría afirmar que con el perfeccionamiento de los equipos se producirá un aumento del riesgo de adicción a la realidad virtual por parte del cibernauta?. Personalmente creo que no o, por lo menos, no será una adicción como la que pueden producir las drogas.

Socialmente, las drogas son una contracultura -como dice Lanier- a los problemas que conlleva el hecho de vivir en una sociedad que no satisface las necesidades personales en su totalidad. Las drogas evaden de la realidad de una forma insana ya que crean una dependencia atroz por parte del cerebro para que éste pueda crear mundos extraños que le satisfacen de una forma puntual y mientras dura la dosis. Las drogas provocan una sobreestimulación exagerada de todo lo que le llega al cerebro.

La realidad virtual es algo que se basa en los principios de percepción de la mente humana para fabricar, de una forma artificial, mundos que sean creíbles para ese cerebro al que le llegan continuamente estímulos de muy distintas naturalezas. La realidad virtual se situaría más cerca de la adicción que provoca la televisión que, aquella, que provocan las drogas puesto que, estas últimas, actúan químicamente dentro de nuestro cuerpo mientras que la de la televisión es tan sólo perceptualmente.

No obstante, al igual que la televisión, los grandes ciberespacios podrían llegar a convertirse en grandes instrumentos de sugestión mental a nivel de grandes masas.

Pero como todo añadido tecnológico a la sociedad, la realidad virtual necesita de un período de adaptación social. Lanier afirma que los próximos diez años de realidad virtual serán bastante feos. Piensa que la alfabetización crea un sistema democrático y la cultura se desarrolla porque la gente que sabe leer aprecia lo leído e intenta imitarlo con lo que poco a poco lo va superando. Este mismo hecho se debe producir en este caso, ya que debe ser un sistema que debe ser utilizado por todo el mundo y en el cual debe ser alfabetizado todo el mundo, por dos motivos evidentes: para crear una utilización democrática de este sistema y para que la cultura de lo virtual se vaya desarrollando de una manera natural y no sólo por intelectuales o expertos tecnológicos.

Todo sistema de comunicación debe ser utilizado por el mayor número de gente posible llegando a facilitar el hecho de que se convierta en un medio de masas. La sociedad de la información lo requiere para que haya un consumo de datos generalizado y el comercio sea masivo. Esto es lo que se está haciendo, en estos momentos, con Internet.

La realidad virtual no se puede quedar en ser tecnología punta que se usa para cosas ultrasofisticadas, sino que debe ser algo de uso generalizado por el poder que tiene para la comunicación y, sobre todo, por su capacidad para el trato con la información. Es evidente que cuánta más gente la use, más información contendrán los sistemas y más rico y

democrático será el manejo del mismo.

La realidad virtual tampoco ha de quedarse en un puro instrumento de visualización a grandes niveles de complejidad, es decir, para científicos.

Ha de ser un sistema de comunicación con un grandísimo poder de convocatoria y con un ancho de usuarios totalmente universal ya que, como hemos visto, la palabra se puede sustituir por símbolos que entendemos todos y cada uno de nosotros, sea del país que sea. Este hecho le convierte en un gran medio de comunicación con el que se pueden compaginar absolutamente todos los demás medios y hacer posible que la comunicación interpersonal se convierta en universal y no dirigida por los medios como lo está siendo en estos momentos. Podría, por tanto, producirse, en cualquier momento, un hecho comunicativo entre gente de China y de USA en un escenario común en el que ninguno de los dos estaría presente salvo de una forma completamente virtual. Actualmente, es necesario tener un teléfono, por ejemplo, y que uno de los dos sepa el idioma del otro contertulio. La realidad virtual es un medio bastante eficaz de saltar este tipo de barreras comunicativas.

Por último, Jaron Lanier sentencia que con la realidad virtual hay una sensación más dispersa del ser, no como en el cine que creó un nuevo concepto del yo.

Ante el cine, el espectador se vincula de un modo afectivo con los personajes de la pantalla. Según Amount (1983, 248), Jacques Lacan elaboró su teoría de la *fase del espejo*, en la que *a través de la mirada, (el niño) constituye imaginariamente su unidad corporal: se identificará a sí mismo como unidad mientras percibe lo semejante como otro*. Este espejo no es más que, podríamos decir, la pantalla de cine pues ambas poseen características similares aunque, según Christian Metz, la imagen de la pantalla no devuelve la imagen del espectador. Estas identificaciones, no obstante, juegan un papel fundamental en el YO del espectador, puesto que, según Lacan, *el yo se define por una identificación con la imagen de los demás, por otro y para otro*, Amount (1983, 256), siendo, desde el origen, la ocupación del yo, lo imaginario, lo ilusorio.

La identificación primaria, en el cine, tal y como se recoge en Amount (1983, 264), *es aquella por la que el espectador se identifica con su propia mirada y se experimenta como foco de la representación, como sujeto privilegiado, central y trascendental de la visión*, es decir, se identifica con la cámara. Este hecho es importante ya que se produce una mediación puesto que la cámara ha organizado, previamente, la representación para el espectador.

Hay otra identificación del espectador con el cine, que se produce con respecto al relato. Por el simple hecho de haber relato se genera la atención en el espectador. Este relato, como en literatura, le viene marcado desde fuera, o sea, desde el autor del mismo.

La realidad virtual se desvincula de estos dos tipos de identificaciones: con la primera, puesto que es el cibernauta el que elige en todo momento el punto de vista, por lo

que va construyendo su propio relato a medida que va moviendo la mirada. El YO no queda definido por esta atracción, por lo que ¿se siente algún tipo de identificación en estos mundos que son, a la postre, imágenes?

Lanier resuelve esta cuestión afirmando que se crea una sensación más dispersa del YO. Sin embargo, debe existir en los mundos virtuales una conciencia de YO para que se produzca una auténtica realidad y así poder interaccionar en ese mundo. De otro modo, sin conciencia de persona no hay posibilidad de interacción y por lo tanto no se produce el hecho comunicativo en ese espacio.

La auténtica paradoja es, en realidad, que estamos en un mundo que no es con un cuerpo que no es, pero que debe simular lo contrario. La identificación se produce, por tanto, con nosotros mismos puesto que nadie nos marca el punto de vista ni el relato.

De ahí, la mayor atracción que produce la interacción con los mundos virtuales que con el cine. Gracias a esta identificación con nosotros mismos superamos las barreras tecnológicas que existen, hoy en día, con la gestión de mundos virtuales y creemos que la simulación con la realidad artificial que se presenta ante nuestros ojos es mayor, que la que realmente se produce.

No hay, por tanto, barreras. Nuestro YO no está sujeto a cuerpos físicos, sino que puede ser cambiante en función del contexto y las necesidades. Jaron Lanier ha tenido, tiene y tendrá mucho que ver en esta nueva fase evolutiva del ser humano.

Capítulo 13.

NUEVAS FORMAS DE COMUNICACION

13.1. EL HIPERTEXTO

Desde el principio de su existencia, el hombre ha usado representaciones icónicas como modo de construcción social de su propio significado, tanto de modo individual como grupal. El hombre de las cavernas reflejaba su modo de vida mediante pinturas en las grutas en que vivía. Y así, nos ha llegado a nosotros.

Apareció el lenguaje hablado y con ello los hombres empezaron a contar historias que se transmitían de unos a otros, llegando a constituir la tradición oral. Ésta era distinta según los pueblos puesto que, según Pisticelli (1995, 135), *las categorías lingüísticas determinan nuestra percepción y nuestro entendimiento y dado que estas categorías varían socio-culturalmente, los modos de percibir y de pensar en las comunidades que utilizan diferentes sistemas lingüísticos redundarán en visiones del mundo distintas.*

Los pueblos crearon mitos para narrar historias llenas de sugerencias y evocaciones que apelan sobre todo a nuestra fantasía y a nuestra imaginación, según Gutrie (1997, 13). Para hacerlo recurrieron a la poesía por su facilidad por los términos expresivos que sugieren al oyente y le permiten lecturas múltiples sobre un mismo acontecimiento.

En el mundo occidental, fue Grecia, el pueblo con un mayor desarrollo mitológico. Homero y Hesíodo recogieron esa tradición oral plasmándola en la "Iliada" y la "Odisea" (Homero) y "Trabajos y días y Teogonía" (Hesíodo). Pero, éstos no fueron los primeros libros de la humanidad, sino que el primer libro del que se tiene constancia es "El libro de los muertos", en el que se nos cuenta el viaje nocturno de Ra (el Sol) en su barca durante doce horas, es decir, desde que se ponía el sol hasta que salía. En cada una de esas horas, Ra atravesaba cada uno de los doce Mundos Subterráneos.

Los pueblos antiguos trataron, de un modo u otro, que su mitología pasara de una generación a otra. Para evitar múltiples interpretaciones, propias de la tradición oral, en un momento determinado decidieron transcribir sus historias a libros que recogían fidedignamente

la misma. El libro, por tanto, se convierte en instrumento de compromiso social y medio constitutivo de cultura, puesto que cuando un autor escribe emplea los modos psíquicos y sociales de su pueblo.

En Grecia el inicio de la filosofía marca el compás definitivo que llevará a la ruptura de la tradición oral como vía de expresión del conocimiento. La multiplicidad de interpretaciones de la tradición oral no era del gusto de los primeros filósofos, puesto que éstos buscaban una lectura única. Por ello, gustaban de usar una terminología precisa aunque no falta de poética. No obstante, los primeros filósofos de los que existen documentos escritos, Anaximandro y Anaxímenes (s. V a.C.), utilizaron un lenguaje científico pragmático. En principio, su objetivo parece evidente: la búsqueda de la racionalización.

Platón introdujo una nueva forma de expresar las ideas: los diálogos. Para Platón el conocimiento no era una acumulación de información, sino, tal y como indica Pisticelli (1995, 137), un estado contemplativo y *en última instancia una visión mental o comprensión de las formas primarias, cuya autoevidencia es el soporte final de su linealidad lógica*.

En principio, en la poesía mítica no había cabida para la racionalidad y la dialéctica propias de la filosofía. En segundo término, el libro tenía en común con su visión de adquirir conocimientos, su linealidad lógica. El libro se lee de principio a fin, siguiendo un orden "lógico" impuesto por el propio autor. Este era el método perfecto de transmisión conceptual y, además, era el medio idóneo para almacenar la sabiduría y, así, hacerlas llegar a las generaciones futuras.

Y, éste es, en realidad, el gran poder y el gran mérito del libro. Su secuencialidad y linealidad le han hecho ser el gran bastión de la cultura en toda sociedad evolucionada. En Occidente ha sido usado, en todos los tiempos, como instrumento cultural, de poder y manipulación, y como Platón quería, en definitiva, el mejor medio de transmitir el conocimiento pues la linealidad es la mejor característica del libro. No hay posibilidad de dar saltos en el propio transcurso lineal de la estructura ya que, sin leer el principio, no podemos entender el final. El lector está obligado al discurso impuesto del autor.

La forma oral de narrar, la poesía, dio al hombre un modo de hablar y pensar en la cultura, mientras que el mundo de las ideas sólo se lograría a partir de la escritura en forma de libro. Como evolución lógica llegaron los escribas, intermediarios entre la propia mente y los elementos simbólicos, que iniciaron, gracias a sus transcripciones, el culto al libro. El momento más importante se dio en la cultura judeo-cristiana con el libro sagrado. No hay que olvidar que Dios envió sus Mandamientos a Moisés de forma escrita, en unas tablas que más bien podían simular un libro. Desde este momento, el hombre empezó a comunicarse con Dios a través de un libro como Él mismo había hecho para comunicarse con los hombres. Este culto era

eminentemente contemplativo, como había deseado Platón, puesto que la lectura del libro se vinculaba a la oración. El libro había sido dotado de autoridad: el mismo Dios había otorgado a la palabra escrita el don de la verdad absoluta.

No obstante, en sus comienzos esta lectura era en voz alta debido a que todavía no se confiaba plenamente en que los escribas hubieran copiado adecuadamente los manuscritos y, también, a que no estaba olvidada del todo la tradición oral de los griegos.

Esta tradición siguió en la Edad Media. Jesús enseñó su doctrina mediante un discurso oral, adecuado a las circunstancias de la época en la que el libro aún no tenía la relevancia que alcanzaría poco tiempo después puesto que la población no estaba alfabetizada para poder ser enseñados a través de la palabra escrita. La vida de los monjes estaba dedicada al estudio de los libros sagrados. Los monjes leían los textos sagrados en voz alta para simular la forma de enseñar de Jesús. El libro empezaba a tener una relevancia dentro de la cultura social. Era guardado en grandes bibliotecas y, de este modo, se trataba de recopilar toda la cultura humana existente. Esas bibliotecas constituían los verdaderos centros de poder. Si se ha leído "El nombre de la rosa" de Umberto Eco, se entenderá muy bien este concepto clave que rigió la tradición cultural y, a la postre, social, de una buena parte de la historia de la humanidad.

La lectura activó la memoria de tal modo que se empezaban a recordar citas durante la lectura de otros libros. Una palabra se podía constituir en el nodo que enganchaba con otras ideas contenidas en otros libros. Para Pisticelli (1995, 152) *existe pues una vocación natural hacia la condición de hipertextualidad por parte de lo escrito*. La clasificación de las materias académicas y su parte de interdisciplinariedad dota al lector de una condición de navegador en el mundo de la palabra escrita. Incluso, el texto escrito suele ser un punto de conexión entre diversos aspectos culturales. Todas las imágenes que nos evoca el leer un libro tienen su procedencia o están relacionadas con el entorno social en el que nos desenvolvemos.

El libro desarrolló el pensamiento y dotó de solidez a los conceptos abstractos que han hecho al hombre diferente de los animales. La lectura creó, por tanto, mentes letradas acorde con las necesidades sociales de cada época.

La imprenta fue el gran invento que necesitaba el libro para consolidarse como el medio de transmisión cultural más importante de la historia de la humanidad. Desde ese momento, podía llegar a cualquier persona. La alfabetización inició un desarrollo cultural y social que ha llevado en pocos años -desde la segunda revolución industrial- a un avance notable del conocimiento humano respecto a otras épocas. La imprenta también logró el paso a la lectura silenciosa que proporciona una reflexión mayor sobre los acontecimientos leídos. El paso de la Edad Media a la Edad Moderna se había producido con éxito.

La idea de intertextualidad ya estaba presente en la lógica racionalista de Leibniz

(1614-1716), que fue el primero en construir los prototipos de ordenador aunque sólo como calculadoras numéricas. Las máquinas de Leibniz eran capaces de construir deducciones probadas por medio de un sistema de lógica binaria. Siglos después gente como Boole, Venn, Russell, Whitehead, Shannon, Von Neumann, Babbage,..., desarrollaron este sistema de cálculo, usando los números binarios de Leibniz y circuitos electrónicos, crearon la computadora digital.

Leibniz, además, impulsó la idea de una Europa unida basados en símbolos lingüísticos comunes. La idea de lenguaje como factor determinante en la diferenciación social ya estaba presente en su filosofía. El sabía que un sistema universal de símbolos para todas las ciencias podría llevar hacia una gran unificación internacional. Para él todos los problemas tienen solución si se creara un medio universal de comunicación. Con un lenguaje universal se tiene la capacidad de trasladar todos los conocimientos humanos a un único conjunto de símbolos, y llevarlos a un sistema capaz de probar si el problema es verdadero o falso, ya que gracias a un lenguaje compartido muchas formas de pensar que ahora pueden resultar enfrentadas, pueden coexistir bajo una única regla. El lenguaje único es el medio de hacer que todos los pueblos sean capaces de entenderse mutuamente con sus respectivas formas de ver un mismo aspecto. Leibniz creía que todo se podía llevar a operaciones lógicas y para ello se necesitaba, como hemos dicho, de un marco común. Leibniz, no obstante, fue un continuador de la tradición escolástica cuyo fundamento se basaba en la idea de que el pensamiento humano era más o menos idéntico a la argumentación y razonamientos lógicos. Leibniz fue más allá y creó símbolos para unificar todos los conocimientos científicos y, a través, de un cálculo universal compilar todas las culturas humanas, dirigiendo todas las lenguas hacia una única base de datos.

Esto es la raíz de lo que en este siglo se ha creado con el mundo del ordenador. Las bases de datos es un intento de recopilación de todo el saber humano y la forma de moverte por ellas es el hipertexto. Leibniz, en cierto modo, fue el gran precursor del hipertexto. El conocimiento humano no tiene límites y esto, que Leibniz fue capaz de entenderlo así, le movió a pensar que si el ser humano era capaz, algún día, de crear una única vía de comunicación sería capaz de crear pensamientos comunes en toda la humanidad y estimular así la perspectiva de una única vía atemporal de conocimiento.

En el siglo XX se digitalizó la palabra escrita y, posteriormente, la palabra hablada. El ordenador permite controlar el texto escrito como el usuario quiera. Podemos resaltar automáticamente una parte del mismo, o cambiar el tipo de letra, subrayar, centrar,..., y podemos seguir leyendo, aunque no como lectores sino como usuarios. Este cambio de denominación de lector a usuario, se debe al hecho de que, con el ordenador, el hombre "usa"

el texto mientras que con un libro tan sólo puede leerlo. La relación del hombre con la palabra escrita, por tanto, ha cambiado.

Pero, ¿qué ha cambiado -si cambia algo- en el paso de la palabra escrita a la palabra digitalizada? Según Alejandro Pisticelli (1995, 139) se produce un aumento notable en el proceso de alfabetización, por lo que se produce un cambio radical en la forma de pensar y *tal metamorfosis puede amplificar la fantasía y potenciar el intelecto, o tratar informacional y manipulativamente el lenguaje*.

Al controlar todos y cada uno de los aspectos del texto se llega a la gran liberalización de la palabra y, como consecuencia, de las ideas. Platón sentenciaba verdades categóricas que plasmaba en libros para dogmatizarlas. La tecnología computacional da esta posibilidad pero, también, abre una vía nueva como es la de la interacción con el texto ya escrito por parte de un escritor. Las verdades escritas en un ordenador ya no son categóricas, sino que están abiertas a posibles modificaciones por parte de los usuarios. El escritor que manda sus ideas a través de la red, da la posibilidad de que su texto vuelva a renacer por parte de los demás integrantes de esa misma red.

Heidegger, en Pisticelli (1995, 140), afirmaba que *la escritura mecanizada privaba a la mano de la dignidad y degradaba la palabra a mero tráfico para la comunicación*. El hombre actual siente todavía repulsa hacia el método de trabajo con la máquina, aunque admira el resultado final que se produce gracias a ella. La simbiosis hombre-máquina aún no se ha producido. Las mayores críticas hacia la palabra digitalizada giran en torno a que los procedimientos matemáticos o lenguaje repetitivo y falta de subjetividad que se debe aprender para interactuar con el ordenador, resta poder a la expresión personal. El software utilizado para procesar textos implica una cierta "esclavitud" hacia la máquina, puesto que se está sujeto a las normas de funcionamiento del programa de ordenador. Además, la propia fascinación del hombre por la tecnología unido a un diseño del escritorio de trabajo lo más atractivo posible a los ojos del usuario, evita una concentración necesaria para el desarrollo de conceptos. La primitiva atracción del hombre por la luz y el fuego encuentran en el ordenador un símil perfecto, que pone trabas a la escritura reflexiva, dispersándola en el envoltorio del texto. El papel en blanco era algo que atraía la atención del escritor evitando, precisamente, su dispersión hacia otras partes del espacio para así dar una mayor posibilidad a la reflexión.

Pero es precisamente aquí, en la nueva apertura de formas y modos de escribir, donde el ordenador debe ser usado como una herramienta de interacción disciplinaria que permita al escritor-usuario la posibilidad de intercambiar conocimientos con otras personas y otras disciplinas de un modo casi instantáneo. Una nueva forma de pensar y concebir el conocimiento deben ser reconocidos.

El ordenador abre nuevas puertas a la realidad como en su tiempo hizo el telescopio o el microscopio. También da la posibilidad de crear nuevas realidades, como la virtual, la infografía o las animaciones. La inteligencia artificial es una buena prueba de que los científicos quieren crear nuevas realidades a partir del ordenador. Sin embargo, los resultados, hasta ahora, no han sido del todo satisfactorios debido, principalmente, a que todavía no se puede simular la velocidad de cálculo de las neuronas de un cerebro humano. Y, más incluso, el ordenador no tiene capacidad para inventar y esto es algo que difícilmente será conseguido.

Existe, en consecuencia, un conflicto entre lo real y lo virtual. La palabra es el único instrumento del ser humano que, en un ordenador, puede ser sobreutilizado, es decir, la palabra digitalizada se convierte en un modo de crear virtualidad con una mayor complejidad que el ser humano le da en la propia realidad. Hemos transformado aquello que nos distingue del reino animal en algo que nos supera a nosotros mismos. El ordenador maneja la palabra para crear algo que se convierte en hiperrealidad. Este modo de tratar la palabra gracias a un ordenador es lo que se denomina hipertexto. En el hipertexto el usuario pulsa con el cursor, una palabra o una frase y nos lleva a otros contextos que contienen la misma palabra o frase, dentro de una misma base de datos. El hipertexto, según Heim (1995, 30) *no es más que intertextualidad electrónica, el texto de todos los textos, un supertexto*. El prefijo "hiper..." significa algo que va más allá. En ciencia ficción cuando se sobrepasa la velocidad de la luz se pasa al hiperespacio.

El hipertexto, a diferencia del libro, trata el texto de modo no-secuencial. Y este modo de tratar los conceptos se parece más al método que usamos en nuestro cerebro que al de la linealidad de un libro. Cuando nosotros escribimos o conversamos sobre un determinado tema, buscamos que todas nuestras ideas vayan interconexionadas unas a otras, aunque sean de disciplinas totalmente contrapuestas. Nuestro modo de pensar y expresarnos es no-secuencial. El hipertexto reúne todas esas características y el reciente éxito del modo de consulta en Internet es la mejor prueba de todo ello.

El hipertexto fue concebido como modo de trabajo computacional allá por 1945, aunque nació como tal en 1960, se desarrolló a lo largo de los años 70 y fue implantado con éxito en todo el mundo a lo largo de los 80. El término hipertexto, tal como nos recuerda Heim (1995, 33), fue inventado en 1964 por Ted Nelson que lo definió como *una escritura no secuencial con libertad de movimientos por parte del usuario*. El primer sistema implantado con éxito fue el ZOG, en 1982. En 1987, la empresa americana Apple Computer implantó en sus ordenadores personales el primer sistema de hipertexto. La tarjeta Hypercard era la responsable de ello y lo que hacía era relacionar diversas tarjetas que se ocupaban del texto.

Ted Nelson necesitaba organizar sus libros de filosofía para tener acceso a datos de un modo más dinámico. El partía de la idea de que la filosofía debía tener un carácter sistemático,

es decir, todos los conceptos e ideas están relacionadas entre sí. Esta concepción de la filosofía como sistema ya había tenido sus seguidores previamente. Spinoza escribió todo acerca su noción de ética basándose en hechos geométricos comprobados. Hegel concentró todas sus ideas en una pequeña enciclopedia. Estos son dos claros ejemplos de la filosofía como interacción entre textos de diversas materias, puesto que presentaban un sistema de pensamiento total de tal modo que los principios del sistema se regulaban sobre cada parte única.

Tomás de Aquino, previamente, escribió su *Suma Teológica* de un modo presistemático. En ese libro explicó todo su conocimiento conectando todos los conocimientos que poseía sobre las diferentes disciplinas. Tomás de Aquino era un seguidor de las doctrinas de Platón y esto se reflejaba en sus escritos. En el libro al que estamos haciendo referencia, él proponía una pregunta para, posteriormente, responderla de modo que pareciese un diálogo con él mismo. Para ello cita e interpreta textos antiguos, enumera numerosos puntos de vista, provenientes de cualquier disciplina, que estén en contra de sus enseñanzas y alcanza sus objetivos finales de propuestas teóricas. El uso de multidisciplinariedad por parte de Tomás de Aquino es un claro antecedente del hipertexto, pero la llegada a conclusiones únicas entra en oposición con el objetivo multiconceptual que se supone al hipertexto.

Para Pisticelli (1995, 145), la gran diferencia del hipertexto con respecto al libro es que el primero tiene la característica de *generar otras descripciones de la realidad*. Su falta de secuencialidad hace que el texto narrativo se abra a una gran cantidad de lecturas posibles. El autor, por tanto, debe plantear varios espacios narrativos y el lector debe escoger cuales de ellos desea recorrer. La narración en un libro rompía su linealidad a partir de las notas a pies de página y referencias a otros libros. El hipertexto agrega a estas estructuras nuevas formas de narrar.

En la literatura, no obstante, han existido diversos autores que en sus narraciones han tratado de imitar la forma de contar propiciada por el hipertexto. El antecedente más evidente es Borges cuyas narraciones en forma de laberinto dirigen al lector de unos textos a otros que, en principio, no tienen ningún tipo de correlación entre ellos. Cada cuento de Borges es una obra en sí misma y, a la vez, cada una de ellas por separado no se entiende sin todas las demás. Esto nos lleva a un mundo secuencial donde todas las obras parecen transcurrir en el mismo espacio y en el mismo tiempo. Y todo ello, dentro de la estructura lineal que supone la escritura narrativa dentro de un libro.

Yo suelo regresar eternamente al Eterno Regreso, escribe Borges (1994, 97) en uno de sus libros para definir su visión del mundo, tanto en lo personal como en lo literario. Borges define su literatura como una continua vuelta y adelanto en el tiempo de lo escrito. En sus

páginas todo llega al fin y al principio en un instante. Para Borges el tiempo es circular. La concepción del tiempo en el hipertexto también se podría determinar como circular: una continúa búsqueda de datos desde un punto hasta otro que, al fin, te lleva al punto de origen. En el hipertexto, por tanto, el final se conecta con el principio omitiendo lo intermedio. El lector parte de una premisa incierta y puede llegar a la conclusión más iluminadora, sin necesidad de tener que entender linealmente todo el desarrollo intermedio. El argumento desaparece como nodo en la narración hipertextual. La estructura narrativa clásica de planteamiento, nudo y desenlace se convierte en algo aleatorio donde el comienzo y el final pueden ser cualquiera de los tres puntos. El texto se convierte en un espacio navegable dejando de ser un camino prefijado por el autor.

La idea de la que partimos no es un anuncio de algo que, inevitablemente, ocurrirá. En el hipertexto, la idea es algo que tiene que ser reconstruida o destruida a medida que avanzamos en el espacio virtual en el que nos movemos. Cada usuario se convierte en autor de su propio relato a partir, eso sí, de una idea predeterminada que imponen los que construyen el espacio primigenio de la virtualidad textual. Evidentemente, son los programadores los que preestablecen los lazos entre los textos, por lo que la infinita interactividad es algo que, actualmente, es totalmente impensable. Pero, según Pisticelli (1995, 194), *la tendencia "espontánea" del hipertexto no es quedar reducido a obra, sino a convertirse en una red polimorfa, que puede dar lugar a una diferenciación infinita*. El hipertexto tiende a la infinitud de lecturas, mientras que el texto escrito -incluso el de Borges- permanece en la linealidad del libro.

En cuanto a la construcción del significado, el hipertexto es un punto de partida clave para construirlo en un medio instrumental como es el ordenador. Las bases de datos son el principal modelo computacional de comunicación creado para el trabajo con el ordenador. El hipertexto es el modo perfecto de operar con ellas: datos que te llevan a otros datos. El hipertexto no puede ser, por tanto, un lenguaje individual, sino que su mayor relevancia la adquiere en entornos de grandes redes tales como la World Wide Web, base de Internet. El discurso de la narración varía como consecuencia de la aplicación del hipertexto, que se convierte en el primer punto de referencia para la creación de tal discurso. La secuencialidad es la clave para hacer del discurso narrativo un proceso de construcción de significado. Las posibilidades aumentan hasta el infinito, proporcionando al lector la posibilidad de elegir entre múltiples recorridos posibles. Ya no queda claro, como lo está en el libro, la intencionalidad del autor, sino que ésta depende de la forma de elaborar la navegación por parte del autor y las intenciones que posee el lector en cada momento. La construcción social del significado es, a partir de la utilización del hipertexto, dependiente de las necesidades reales del usuario según

la construcción, más o menos dirigida pero siempre cuestionable desde el punto de vista del discurso, del autor o programador.

El lenguaje es la pauta que marca la diferenciación social. El lenguaje es el instrumento del conocimiento y el conocimiento no es algo individual, sino fruto de una producción social. En el entorno virtual que nos proporciona el ordenador tanto el texto, como los gráficos, animaciones y narraciones deben estar integradas y el hipertexto se convierte en el paradigma de unidad. La importancia de la simulación no radica, tanto en los procesos mentales como en las interacciones entre diversos subgrupos sociales para incorporarlos a la máquina. Para Italo Calvino, en Pisticelli (1995, 147), *la existencia social no es sino una combinatoria de experiencias, informaciones, lecturas e imaginación*. La máquina debe tratar de crear posibilidades de llegar a conseguir una interconexión entre todos estos factores. El lenguaje de todo este entramado es el hipertexto que debe buscar, por lo tanto, que el autor del mensaje no se convierta en juez y parte del mensaje sino que sea el entorno social el que, a partir de la secuencialidad del texto, construya la propia linealidad del mismo a partir de la individualidad.

El hipertexto, por tanto, se convierte en símbolo de modernidad que, tal y como afirma Pisticelli (1995, 149), *rechaza las jerarquías autoritarias y logocéntricas del lenguaje que opera lineal y deductivamente, y busca, en cambio, instaurar formas discursivas que admitan una pluralidad de sentidos*.

Desde este punto de vista la relación con la literatura cambia drásticamente puesto que los procesos de construcción y desconstrucción se realizan simultáneamente, por lo que el significado del texto literario clásico no está en concordancia con la estética trazada por el hipertexto. Hay que buscar nuevas vías de expresión literaria para hacer del hipertexto el medio de comunicación social que aporte un nuevo punto de vista a la creación literaria. Una vez conseguido, los sistemas de información o bases de datos, podrán ser redefinidas a partir de una neoestética literaria y no a partir de un modelo matemático de palabras claves, que nos llevan a otros textos, tal y como funcionan hoy en día las grandes redes como Internet.

Pero no todo son ventajas con el hipertexto. Su principal problema es la falta de orientación que puede provocar en los usuarios cuando éstos no saben que camino tomar o están indecisos entre dos de ellos. La falta de referencias narrativas anteriores ha hecho que no existan suficientes precedentes para evitarlo. No obstante, siempre ha habido escritores de ficción, como ya hemos visto, que han usado estilos no-secuenciales en sus narraciones.

Además, las palabras clave no resultan siempre cómodas para el usuario llegando, a veces, a resultar equivocadas o faltas de consistencia. Ted Nelson imaginó que el ordenador permitiría escribir un libro con notas a pies de página dinámicas, es decir, a las que se pudiera acceder mediante dichas palabras claves o *links*, como él las denominó. Esta primera

concepción es sintomática de la unión existente con la cultura del libro, lo que evidencia una falta de desarrollo teórico conceptual del hipertexto. Actualmente ese paradigma no se ha determinado claramente, por lo que la idea primigenia de Ted Nelson sigue imperando aún en nuestros días. El hipertexto debe ser algo menos dirigido y más arbitrario para que el usuario acomode sus necesidades. La libertad de movimientos debe ser plena dentro del hipertexto y el autor del mismo debe tener en cuenta este factor para crear. Los links deben ser mucho más que herramientas de referencia. Por sí mismos indican la posibilidad de llegar a otros textos de modo instantáneo, pero no deben existir textos primarios de los que se parten y textos secundarios que dependen del principal, sino que todos los textos tienen que estar virtualmente presentes y disponibles para un acceso inmediato. Hasta ahora es el programador el que toma la decisión de elegir palabras clave y, a menudo como hemos visto, no concuerda con los intereses del usuario. Además, una vez conectado a otro texto procedente del punto de partida no resulta, a veces, el adecuado para los intereses que el usuario persigue, por lo que debe proseguir la navegación en otros caminos alternativos que le pueden llegar a provocar falta de orientación. Esto es un problema para aquellas personas que desean iniciarse en el mundo del hipertexto.

Hasta ahora el hipertexto se mueve dentro de la palabra escrita, pero esto puede llegar a no ser suficiente puesto que el entorno virtual en el que nos movemos es, cada vez, más visual que textual. La falta de un interfaz que supla todas las necesidades es algo fundamental si queremos adecuar el hipertexto a los requerimientos sociales más acuciantes.

El usuario, además, nunca sabe realmente todas las posibilidades de que dispone, puesto que no se nos describe previamente todas las características y probabilidades de actuación del sistema. Esto implica una pérdida de tiempo que, a veces, resulta molesta y, si lo unimos a la falta de información sobre el uso de las herramientas de cada hipertexto, el problema se agudiza. La unificación de un único lenguaje de programación hipertextual lo más visual posible es un factor fundamental para la consolidación de esta herramienta. El lenguaje HTML para Internet es un paso adelante en esta carrera hacia el manejo de datos de un modo completamente visual. La estructura actual es jerárquica y a muchos niveles de profundidad por lo que no está acorde con los niveles de procesamiento de información, que suele resultar bastante simple, de la sociedad. El usuario, en general, no necesita ahondar mucho en su búsqueda ya que ésta le quita tiempo de trabajo y le aumenta el costo de uso de la red. El usuario prefiere concentración de información a niveles estructurales jerárquicos más superficiales. Si hiciéramos un símil con el mundo de la televisión, sería como si para cambiar de canal con el mando a distancia se necesitaran tocar cinco botones y no uno como es realmente. Los programadores de hipertexto deben tender a reducir el número de "capas"

informativas para llegar a alcanzar la simplicidad, que en la era de la imagen en la que estamos viviendo, resulta lo más convincente para el usuario.

La realidad virtual debe llegar a convertirse en el interfaz más eficaz a la hora de manejarnos por los mundos virtuales del texto escrito. Internet es la gran plataforma de desarrollo del hipertexto y está creando nuevos diseños de lectura y escritura. Los ordenadores nos ayudan a flexibilizar la estructura narrativa. En realidad, la idea primigenia de trabajo con ordenador implicaba la teoría del hipertexto, pero es ahora cuando se está desarrollando en toda su amplitud.

Como hemos visto antes y según asegura Heim (1995, 38), la gente prefiere la información total que es *la ilusión del conocimiento*, y el hipertexto favorece esta idea. La idea de búsqueda en un único texto universal que es la unificación de todos los textos -así podríamos definir al hipertexto- puede, no obstante, crear nuevas visiones desde todas las diferentes perspectivas que provoca la capacidad individual de cada ser humano. El hipertexto incrementa la habilidad intuitiva del usuario, aunque la tendencia actual es a la visión rápida de las ideas -preferiblemente en forma de imágenes- que a una interiorización consciente del conocimiento. El hipertexto es una clara prolongación de esta visión del mundo y, combinado con la realidad virtual, posibilita una mejor interacción con la cantidad de información, que algún día será toda la sabiduría humana, almacenada en bases de datos.

La era de la información en la que vivimos ha incrementado el lenguaje simbólico. La forma con la que trabajamos en los ordenadores personales ha incrementado el número de elementos simbólicos. Actualmente podemos tener acceso a una enorme cantidad de información almacenada. Nuestros antepasados aprendían todo a través de la experiencia y muy pocos eran los posibilitados para acceder a la información. A través de sus exploraciones diarias por la realidad crearon la base del conocimiento. Poco a poco fueron escribiendo este aprendizaje cognitivo, que se fue acumulando en bibliotecas, para su posterior uso por otras personas que lo utilizaban como información para contrastar sus experiencias personales.

La lógica aristotélica, predominante durante siglos, argumentaba la validez de las hipótesis en todas las disciplinas mediante un lenguaje natural. La lógica moderna ha llevado dicha argumentación al mundo de los símbolos, para su procesamiento electrónico posterior. El hipertexto, es el medio más natural de acceder a este mundo de símbolos que engloban el conocimiento humano.

La actual abundancia de información imposibilita la capacidad de contrastarla con nuestras experiencias, lo cual redundará en una pérdida sustancial de adquisición de conocimiento. Las búsquedas rápidas, por medio de un hipertexto, no garantizan la adquisición real de conocimiento. Para que este hecho sea posible, debemos enseñar al usuario a estructurar

la capacidad de búsqueda y garantizar, de este modo, una previa conceptualización de la misma. El hipertexto nos ayuda a navegar en el laberinto informativo de las actuales redes. Si no somos capaces de contrastar esta continúa y acelerada sobrecarga de datos a las que tiene acceso el usuario, podemos llegar a alcanzar una falta de utilidad del mundo simbólico que ha propiciado el mundo de la informática, y llegar a entrar en conflicto con la característica más notable de este fin de siglo: la información.

13.2. LA COMUNICACIÓN GLOBAL:EL DERRUMBAMIENTO DE LAS FRONTERAS COMUNICATIVAS

La aparición de la fotografía acabó con el aislamiento sociocultural de los pueblos. Fotógrafos viajaron alrededor del mundo en busca de imágenes de pueblos que, en algunos casos, ni siquiera se había oído hablar de ellos. Desde ese día, las fronteras entre los pueblos se empezaron a resquebrajar.

El cine y, posteriormente, la televisión ahondaron más en este proceso; se difundieron todo tipo de culturas por los medios. Los pueblos creadores de comunicación -los norteamericanos, por ejemplo- construyeron modelos comunicativos para influir culturalmente en el resto de países. Se empezaba a fraguar la idea de una comunidad internacional con una única ética cultural. En nuestros días las redes informáticas han dado el último paso en este proceso: las grandes bases de datos están abiertas a cualquier persona en el mundo que tenga un ordenador y una red telefónica a la que engancharse.

La idea de comunidad global o aldea global del teórico Macluhan está cada vez más cerca de su meta. Palazón (1998, 9) nos recuerda que, en la actualidad, *una de las claves de toda la información y la cultura que se generan es que tienen un tratamiento predominantemente audiovisual*, por lo que la cultura actual es la *civilización de la imagen*. La información de esas grandes de datos llegará a un mayor número de gente, en tanto en cuanto, se transformen en imágenes y, en este punto, hacen aparición los espacios virtuales de comunicación. Gracias a esta transformación de datos en imágenes se puede llegar a la normalización en la comunicación global, puesto que la tendencia en el mundo de la imagen es a estandarizar las formas. De este modo, podemos alcanzar un universo irreal de imágenes que, en su fin último, esconde lo propiamente real, ya que, tal y como nos indica Palazón (1998, 10) *toda imagen oculta lo real*.

La comunicación necesita de códigos aprendidos por parte de los participantes. Los emisores y receptores deben conocer un mismo código semántico para establecer la comunicación. Este problema se convierte en la única barrera para la creación de una comunicación global. La tecnología se ha constituido como el canal comunicativo principal de transporte de mensajes entre emisores y receptores. La ignorancia de un lenguaje común

imposibilita la comunicación, como también lo imposibilita el desconocimiento del lenguaje que utiliza la máquina para establecer una comunicación con la propia máquina o con otros puntos. La falta de cualificación puede, por tanto, contribuir a la ineficacia de la comunicación. Este no es el caso cuando se trata de lenguaje informático. La realidad es que operar con un ordenador -incluso en los espacios virtuales- no necesitas aprender códigos de alto nivel, sino tan sólo una lógica simple, como es la booleana. Este tipo de lógica te ayuda a buscar, entre la gran cantidad de información disponible en la red, por medio de ideas, frases o palabras claves. Esta reducción del nivel de complejidad simbólico para interactuar con la máquina posibilita un mayor nexo entre todas las diferentes culturas. George Boole (1815-1864), creador de la lógica simbólica, concebía el lenguaje como un sistema de símbolos y la lógica podía determinar si este lenguaje llegaba a ser correcto o no. El lenguaje, por tanto, se puede codificar como datos y operar con él mediante fórmulas booleanas simples. Partimos, pues, de una forma de operar con el lenguaje, común a todas las culturas debido a la simplicidad matemática con que opera el ordenador. El libro es una herramienta básica de difusión de cultura en todos los pueblos. El lenguaje tratado como datos y manipulado mediante la lógica booleana se puede llegar a convertir en la mejor herramienta de difusión cultural en un futuro cercano. La realidad virtual, que está inscrita en este mundo de números, es la representación más evidente de mundo interactivo para la manipulación de datos convertidos en imágenes, lo cual es algo que acerca culturalmente a todos los pueblos.

La comunicación de masas se centra en este objetivo: conseguir que el mayor número de gente conozca tanto los códigos lingüísticos como los tecnológicos para proceder a realizar el hecho comunicativo. Por ello, la televisión se ha convertido en el eje estructurador de la comunicación de masas. Las imágenes que se nos muestra a través de este medio, no necesitan de un código aprendido para ser vistas y el idioma no supone un problema puesto que es traducido al idioma del país destinatario. Durante años, la televisión, por tanto, se ha consolidado como el medio más eficiente de la comunicación de masas. Pero, en los últimos años, la gente ha querido dejar de ser masa para convertirse en público. La diferencia existente, según Moragas (1985, 65) es que *un individuo deja de ser miembro de la masa y se convierte en público cuando aspira a influenciar en la vida pública.*

Los medios de comunicación de masas siempre han aspirado a que la gente intervenga en la confección del mensaje -cartas al director, intervención de los oyentes en la radio, programas en directo en la televisión que pedían llamadas telefónicas por parte de la audiencia,...-, aunque desde el punto de vista editorial del medio. La falta de posibilidades tecnológicas ha imposibilitado el que se pudiera llegar a una interactividad con el medio, como ya hemos visto en el tema de la interactividad. La informática ha abierto una vía a este camino

interactivo por medio de las grandes redes como Internet. El reciente "Caso Lewinsky" en el que el sumario judicial ha sido transcrito totalmente a Internet para que cualquier persona del mundo tuviera la posibilidad de acceder a ello, ha dado a conocer todas las posibilidades de comunicación interactiva que poseen estas redes. Los códigos que hay que aprender para usar esta tecnología son escasos o muy fáciles de asimilar por parte del usuario. El único problema vuelve a ser el desconocimiento de un determinado idioma. Si el usuario no sabe inglés o alemán o cualquier otro idioma aparte del suyo, tan sólo podrá entablar un acto comunicativo con aquellas páginas que estén en su propio idioma. La barrera comunicativa vuelve a estar presente, tal y como ocurría con los anteriores medios de comunicación de masas, pero se supera el factor de que haya un grupo dirigente que manipule, para su provecho, la información. Umberto Eco, en relación a esto, afirma que *el mensaje sufría el filtrado de los llamados líderes de grupo, de los gatekeepers, de modo que la comprensión venía modulada sobre las exigencias y sobre el sistema de expectativas del grupo destinatario* en Moragas (1985, 178).

En Internet la información es tratada como algo particular, es decir, cada persona se puede confeccionar su propia página Web y enviar dicha información al ciberespacio informacional para que cualquier otra persona pueda llegar a ella sin necesidad de un mediador que nos mediatice el mensaje. La figura del mediador informativo desaparece, por tanto, de la red y la información se convierte en elemento de uso democrático.

El soporte tecnológico que nos aportan estas redes para el acercamiento cultural entre pueblos, hace que tengamos que meditar sobre una nueva estructuración de contenidos en la red. Las barreras lingüísticas imposibilitan una mayor integración cultural, por lo que los contenidos son influenciados por este factor.

Para Palazón (1998, 184) el contenido *es todo lo que se puede experimentar y pensar* por lo que toda aquella información que vaya por la red debe contemplar estas expectativas. La red no sólo contiene información escrita, causa de la barrera lingüística, sino que también se transmiten imágenes que pueden ser comprendidas y pensadas por todos. Esta posibilidad abre nuevas vías de comunicación ya que si unimos un universo visual al ya existente la integración de cualquier cultura puede ser un hecho factible.

La realidad virtual es un espacio visual de información o, al menos, puede constituirse en ello. Las grandes compañías están iniciando este futuro visual donde el ciberespacio se constituye en un universo de imágenes simbólicas fácilmente conocidas por todos. Pisticelli (1995, 109) afirma que *las transacciones significativas empiezan a tener lugar en un espacio inmaterial, donde los interlocutores no son personas sino sus simulacros*. En este espacio, en el que los conceptos son representados por símbolos, es necesario que las personas que deseen

interactuar con los mismos sean transformados en conceptos visuales autóctonos puesto que un mundo virtual la persona real carece de sentido. Debemos acostumbrarnos a que, en los espacios virtuales, la interacción se efectúa con imágenes que no existen salvo en la memoria de un ordenador. Todas las entidades reales que, hasta ahora, han sido imprescindibles para un buen resultado en el proceso comunicativo, ya no son necesarias. Nuestro cuerpo se transforma en imagen, pero nuestro cerebro sigue siendo el órgano encargado del procesamiento de información. El cuerpo real está fuera del espacio donde se produce la comunicación pero interactúa por medio de aparatos, como el casco o los guantes de datos, dentro del espacio pues es el que da las órdenes a su Yo virtual dentro del ciberespacio comunicativo.

El ordenador, por tanto, tiene implicaciones epistemológicas. El conocimiento se integra en una red de información que incluye todo lo que es conocido, y que es capaz de devolvernos todo eso que no conocemos. Debemos cambiar el modo de entender el procesamiento de nuestro pensamiento. Con el ordenador somos capaces de reorganizar los datos y ver aparecer la información tan rápidamente como en nuestra mente. La imprenta trajo consigo una mayor difusión de la cultura al hacer que el libro se extendiera entre todas las clases sociales. Las grandes redes de información actuales abren la posibilidad de acceso a la información en tiempo real. Los espacios virtuales de comunicación posibilita la interacción con la información para todas las personas del mundo, independientemente de sus aspectos culturales, pues se convierte en el interface perfecto de comunicación entre hombre y máquina. Además, al contrario que lo ocurre con el libro, se puede interactuar directamente con las ideas situadas en la red y desarrollar conceptos propios contrastándolos con los datos contenidos en la red y con otros usuarios situados en tu mismo espacio. La libertad de interacción es absoluta, tanto con los datos de la red como con los cibernautas que naveguen contigo en el mismo espacio.

Por otra parte, en estas redes el cuerpo físico adquiere forma de "demonios", clones, etc, que son los encargados de representarnos en cualquier parte del mundo, y encontramos con otros "demonios" en escenarios virtuales compartidos. La forma de pensar en un entorno digital no es igual que en el entorno real en el que nos desenvolvemos. La forma de interactuar y el pensamiento está abierto a cualquier posibilidad puesto que se hace viable la posibilidad de establecer nodos entre cualquier rama científica o cualquier materia informativa o, más importante todavía, entre personas de todo tipo de culturas.

En Estados Unidos, por ejemplo, ya son habituales las *comunidades virtuales* en las que personas de todo el mundo debaten e interactúan intereses comunes. Una de las primeras comunidades virtuales fue la "experiencia Habitat", creada por Lucasfilm Games y Quantum Computer Services, que funcionó desde 1985 a 1989. Más recientemente, el Caribe Club de

Quantum Link, tiene más de 15.000 participantes. Fujitsu también ha creado la Fujitsu Habitat que es la más avanzada de todas las comunidades virtuales, según datos de Quéau (1995). El futuro pasa por mensajerías gráficas interactivas y tridimensionales y, por supuesto, las grandes redes exclusivas para encuentros virtuales.

Platón dividió, en un plan teórico, al ente humano en cuerpo y alma. La realidad virtual ha conseguido que el hombre deje su cuerpo físico en la realidad y controle su cuerpo o alma virtual dentro de un espacio interactivo de comunicación. El mito de la caverna de Platón encuentra su sentido más pragmático en este punto de desdoblamiento del cuerpo humano. El modelo comunicativo es el mismo que podríamos aplicar en la comunicación real, salvo que tanto el emisor como el receptor se despojan de su cuerpo para transformarse en conceptos visuales que los representen. Existe, por tanto, un hecho comunicativo (transformar nuestro cuerpo en símbolo visual) previo a la propia comunicación que se produce en el espacio virtual. Cualquier contenido que deseemos emplear tiene, antes de su utilización, que ser construido en referente simbólico. Nosotros sabemos que la palabra "nieve" es una especie de polvo húmedo e inconsistente que el agua alcanza a bajar las temperaturas a un determinado mínimo. Un esquimal tiene cuatro palabras diferentes para nombrar la "nieve". Sin embargo, si representamos visualmente la "nieve" tanto el esquimal como nosotros comprenderíamos a que nos estamos refiriendo.

Si alguien no comprende un determinado mensaje lingüístico, lo primero que intenta es verbalizarlo, después se lo imagina visualmente en el cerebro pero puede equivocarse en el contenido que le ha querido transmitir el emisor, con lo que el emisor y el receptor no estarán abordando la misma unidad de contenido. Por otra parte, la libertad lingüística para Palazón (1998, 194) *no sólo es libertad de administrar el propio código, sino también libertad de traducir un código a otro código*. Si tenemos un desconocimiento fundamental del código del otro, la comunicación total se hace totalmente imposible.

La semiótica de las culturas ha intentado evitar estos problemas mediante la segmentación de los contenidos. Una cultura organiza unidades elementales de contenido para ponerlas en relación con otras unidades elementales de otra cultura. De este modo, subdividiendo el modo cultural en unidades, podía tratar de asemejar unas unidades con otras para, posteriormente, compartirlas. La esencia de la cultura, no obstante, no se conocía por parte de los miembros de las otras culturas puesto que nunca se conocía la cultura estudiada en su totalidad. Los códigos visuales, en cierto modo, se basan en esto. Se han establecido criterios de lenguaje y estéticos visuales en la que todas las culturas pueden entrar al tener referentes similares en la suya propia. De este modo, toda la cultura occidental comprende, por ejemplo, los canones estéticos y narrativos del lenguaje cinematográfico de las películas de Hollywood.

La realidad virtual toma cuenta de estos símbolos visuales y los añade a sus espacios virtuales para que cualquier persona que haya tenido relación con lo audiovisual (haya visto una película, por ejemplo) sea capaz de asimilar ciertas normas de construcción del espacio, desde el punto de vista visual. El rojo puede implicar una señal de advertencia o de peligro en todas las culturas y si nos situamos delante de una puerta la tendencia natural es a pasar.

El trazado arquitectónico de los escenarios virtuales está basado en torno a estos tipos de símbolos y a construcciones tipo laberínticas o llenos de puertas para ir accediendo a subespacios que, todos juntos, conforman el escenario virtual.

Los escenarios virtuales son, a la postre, imágenes de síntesis generadas por ordenador a partir de modelos simbólicos que, son constituidos, a su vez, por lenguajes formales procedentes de las matemáticas. La raíz de cualquier imagen de síntesis y, por tanto, de toda la realidad virtual es el *número* y, si quisiéramos representarlas, tendríamos que construir tablas numéricas. El número y, por extensión, las matemáticas, es algo que une a toda cultura. Nace, pues, la imagen de síntesis a partir de una raíz común a toda cultura que derriba cualquier frontera y que, universaliza, la técnica de representación. Ya no necesitamos de materiales físicos, desconocidos por su inexistencia entre las materias primas de muchas culturas, para representar. La imagen nace de operaciones simbólicas en el seno de una máquina que lo único que hace es calcular las diferentes operaciones matemáticas que le vayamos pidiendo.

La herramienta básica de representación para cualquier creador de cualquier cultura es la misma: el ordenador. El lenguaje formal para usar esa herramienta en pos de una mayor libertad de creación es, también, la misma, puesto que, según Quéau (1995, 129) *estas manipulaciones simbólicas obedecen a gramáticas formales*. Las operaciones dentro de estas gramáticas son similares a las que se harían con el lenguaje pero, con una mayor extensión, puesto que es un lenguaje común para cualquier cultura, lo que abre cualquier posibilidad a una representación sin ningún tipo de limitación ni barrera comunicativa. Se pueden crear imágenes del mismo modo que se dicen o escriben "frases", es decir, ordenando una serie de palabras escogidas para dotar de sentido a una determinada "frase", siguiendo unos criterios preestablecidos. La *ordenación simbólica capaz de generar una imagen se llama "modelo"*, según Quéau (1995, 130). La imagen, no obstante, deja de ser representación de algo para convertirse en algo que tiene vida propia, con la que se puede interactuar y manipular en tiempo real a gusto del usuario.

La imagen virtual no existe como sustitución de nada, sino que adquiere una entidad propia que genera la misma ilusión de realidad que las representaciones pero que, en ningún momento, existe. Al fotografiar una flor existe como ser vivo y como entidad representada, mientras que si generamos una flor mediante síntesis de imagen su única existencia es la

imagen, basada en cálculos matemáticos, que el ordenador nos proporciona. Además, esta flor virtual es un ente vivo que podemos llegar a manipular en tiempo real, por lo que nunca es algo constante, salvo si almacenamos todos los cambios en la memoria de un ordenador.

Por otro lado, existen modelos que dotan a sus imágenes de vida autónoma. Estos modelos basan su comportamiento en ciertas reglas que involucra, en el modelo, el creador del mismo, pero haría falta una gran cantidad de cálculos para saber exactamente cual va a ser su comportamiento en todas las situaciones. Estos modelos son creados, principalmente, para el campo de la inteligencia artificial que intentar hacer a la máquina creadora de su propio destino. Sin embargo, estos modelos están basados en lenguajes formales previamente establecidos e iguales en su fundamentación básica.

La imagen de síntesis debe tener, no obstante, todas las características de representación que poseen las imágenes clásicas. No obstante, no deja de ser una representación simbólica de un modelo matemático creado previamente, e introducido en el ordenador como hoja de cálculo de dichas imágenes y que, gracias a esta característica, permite la interactividad del usuario con la misma, de tal modo que se puede llegar a modificar las leyes del modelo gracias a la interacción con la imagen. Se produce, por tanto, un hecho comunicativo sin ningún tipo de limitación y con un infinito orden de reciprocidad entre los modelos y las propias imágenes que generan. Se pueden pasar de los números a las imágenes y viceversa, sin ningún tipo de complicación. Cada pixel -órgano constitutivo de la imagen de síntesis- es producto de un cálculo matemático, que puede volver a convertirse en número.

La física aristotélica proponía una oposición entre forma/materia por la que la imagen, como representación de algo, se encontraba en el lado opuesto de la materia representada de la cual provenía. La construcción de imagen de síntesis hace que esta distinción desaparezca, ya que la imagen deja de ser referente de algo para constituirse en materia y en forma al mismo tiempo, gracias a la posibilidad de interacción con la misma. La imagen se convierte en un elemento unificador, aspecto propiciatorio de una ruptura de las barreras en las representaciones. La existencia de una forma común de representar el mundo unido a la posibilidad de interactuar con el mismo, hace posible que el futuro de una comunicación sin fronteras, basada en la imagen, esté cada vez más cerca. La realidad virtual se convierte, por tanto, en la plataforma idónea para la creación de una comunicación global que abarque a todas las diferentes culturas.

La realidad virtual nace de un modelo de síntesis visual creado por un lenguaje universal de números que se combinan siguiendo gramáticas formales que proceden del campo de las matemáticas.

La posibilidad de establecer espacios basados en la imagen abre también la vía de que,

subgrupos dentro de la gran cultura social, establezcan sus propios símbolos de relación. La gran experiencia con los media ha demostrado que los grandes medios de comunicación de masas no son únicos, sino que interfieren y son interferidos por otros modelos con una relevancia menor pero existentes dentro de una cultura. Las corrientes vanguardistas, cuando se constituyen, son subgrupos que no entran dentro de las normas establecidas por la gran sociedad a instancias de los medios de masas. Además, la cultura de masas es algo vivo, algo que cambia continuamente y que genera nuevos modelos que sustentan su supervivencia. Las reglas textuales varían de un grupo a otro, de un período a otro, con un gran dinamismo, puesto que los textos y códigos que se mueven dentro de la propia cultura de masas incitan a la existencia de códigos alternativos con los que confrontar y, al vez, reiterar en las propias bases del sistema.

La nueva vía abierta por el sistema de comunicación basado en espacios virtuales interactivos es una de esas nuevas formas de comunicación creada para suplir las necesidades actuales de un mercado comunicativo que cada vez quiere saber más del otro, aunque se encuentre en el país más alejado del suyo. En esos espacios los grupos alternativos que se van generando a medida que la sociedad avanza, encuentran un perfecto modelo comunicativo donde expresar, gracias a espacios visuales, todas sus creencias. La realidad virtual debe ser un espacio de encuentro comunicativo donde todas las culturas y subculturas encuentren un nuevo soporte de expresión.

Los medios de comunicación de masas no son el único soporte social, sino que ésta está también configurada por los distintos subgrupos. Hay que comprender siempre lo que el otro intenta transmitir para que tu mensaje sea también comprendido. La realidad virtual se constituye, por tanto, en el mejor espacio comunicativo con la que cuenta el ser humano para comunicar y ser comunicado desde cualquier grupo o subgrupo social, ya que el espacio visual que lo conforma plasma una realidad total de los referentes visuales de todo aquello que todo integrante de una cultura está acostumbrado a observar, independientemente de los códigos semánticos, mediante los cuales, se comunican los individuos de un mismo grupo social.

Este espacio debe ser, por tanto, confeccionado como un universo paralelo de comunicación y de interacción, independiente de las fronteras comunicativas que, el ser humano, debido a los distintos lenguajes, ha tenido que saltar para un mejor entendimiento entre los pueblos.

El ciberespacio está empezando a ser algo que suplanta al espacio físico. En las telecomunicaciones hay siempre una especie de frontera imaginaria entre lo físico y lo virtual. Nuestra voz, al hablar por teléfono, parece viajar a través de unas ondas imaginarias existente entre los interlocutores. Las redes informáticas son grandes espacios de información donde el

usuario acude sin ningún tipo de limitación geográfica o de status social. Cualquier persona que acuda a ellos entra en las mismas condiciones. Las redes, por tanto, funcionan, tal y como nos indica Pisticelli (1995, 110), como *nodos sociales que favorecen las afinidades electivas múltiples y fluidas que la vida cotidiana rara vez fomenta*. La tecnología aumenta la capacidad de integración colectiva del ser humano, pero disminuye la autoindependencia del ser humano al integrar todos los conocimientos en una única vía de expresión.

La realidad virtual empleada como herramienta comunicativa crea espacios compartidos que nada tienen que ver con los aspectos monopolistas que, en los últimos años, han creado las grandes empresas de comunicación. La información es algo dirigida por unas pocas compañías en todo el mundo. La comunicación, a través de espacios virtuales, se construye en un marco interactivo de participación en el que cualquier individuo puede participar desde un mismo rol que los demás. La división clásica entre emisor y espectador deja de tener sentido para convertir al usuario, en emisor y espectador al mismo tiempo. La persona que navegue por estos ciberespacios tiene la posibilidad real de poder expresar, sin limitaciones, sus ideas y debatirlas en un marco en el que, como hemos dicho previamente, la limitación del lenguaje no supone un obstáculo.

Los gobiernos, que tanto entienden de control y monopolización de los medios, no han encontrado forma de regular la red Internet y, de este modo, acabar estableciendo un provecho institucional a la misma. Esta red es la antesala de los espacios virtuales de comunicación. En Internet se pueden encontrar foros de debate de cualquier tema con una total libertad de expresión. La necesidad de infraestructura tecnológica es mínima, tan sólo un ordenador y conexión a una red telefónica. La limitación de la red, que se suplirán en los espacios virtuales de comunicación al comunicar mediante imágenes, es el tener que conocer un determinado idioma para participar en una conversación que, pudiera no producirse, en el idioma o idiomas conocidos por el usuario.

El contrapunto a esta libertad comunicativa que se puede llegar a conseguir por medio de espacios virtuales de comunicación es el hecho de que para crearlos, como siempre, se necesita de una gran infraestructura tecnológica. La realidad virtual exige de tecnología de última generación que suele estar en manos de unos pocos. La experiencia práctica nos indica que estos pocos, raras veces, se mueven por intereses generalistas y prefieren defender sus negocios privados. La consecuencia sería que la construcción y puesta en funcionamiento de los espacios virtuales de comunicación se regirían por intereses privados y su manipulación resultaría evidente.

En los medios de comunicación de masas, los gobiernos y los grupos privados poderosos han manipulado, desde sus orígenes, el mensaje. En los espacios virtuales de

comunicación lo que se manipularía sería el propio medio de difusión de mensajes, lo que nos lleva a pensar en la utilidad democrática de los mundos globales de interacción comunicativa.

El universo sociológico y, sobre todo, el económico necesita de una mayor globalización para poder expandir sus mercados. Las grandes potencias en comunicación amplían sus ámbitos de influencia para obtener una mayor riqueza de mercado. El uso mercantilista de las libertades comunicativas y la infraestructura que se necesita para que se pueda realizar el hecho comunicativo a través de un medio tecnológico, impide un mayor desarrollo de las riquezas culturales que los países podrían aportar y recibir de los demás.

La libertad comunicativa, por tanto, se encontrará coartada mientras que la construcción de los espacios dependa de manos privadas, aunque la puesta en marcha implique cuestiones eminentemente públicas.

Por tanto, la construcción de realidades virtuales no lleva implícito la creación de una democracia global que derribe cualquier tipo de frontera comunicativa, sino que se debe crear previamente un espacio público de pluralidad e integración de los medios a cualquier usuario, olvidando burocracias y falta de recursos para interactuar, por las necesidades económicas que se exijan al usuario.

Hasta ahora no existe una filosofía clara que dirija la creación de escenarios virtuales para uso comunicativo. El gran desafío, por tanto, es crear las bases necesarias para construir un universo comunicativo virtual donde todas las personas tengan cabida, independientemente de su status social y sus recursos económicos. De este modo, evitaremos las pesadillas futuristas que algunos libros como "Un mundo feliz" de Aldous Huxley, o películas como "Blade runner" de Ridley Scott, y construiremos un mundo basado en una mayor igualdad y alejado de las manos poderosas de unos pocos terratenientes de la tecnología.

13.3. POSIBILIDADES DE UNA NUEVA CULTURA GRACIAS A LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN

La realidad virtual es un nuevo medio de comunicación basado en un soporte informático. Todo medio de comunicación nuevo supone un cambio en la percepción social, es decir, los nuevos medios de comunicación cambian el modo de relación social existente entre los actores del hecho comunicativo para, de este modo, adecuarse al nuevo medio.

Esta relación directa lleva implícita un nuevo orden social donde se crean jerarquías con nuevos poderes. La actual sociedad de la información, en la que los periodistas juegan un papel fundamental, es fruto de la implantación social de medios tecnológicos como la televisión vía satélite que permite cualquier conexión en directo desde cualquier punto del mundo.

La proliferación de medios de comunicación no es directamente proporcional al incremento de la calidad en el hecho comunicativo. La proliferación de medios hace que se incremente el ruido. La cultura en el medio se olvida en detrimento de los mensajes informativos, ya que al ser más caros los costes tecnológicos hacen falta más recursos - en forma de publicidad- para poder sufragarlos.

La relación entre tecnología y cultura exige ser replanteada. La tecnología abre nuevas perspectivas a la comunidad pero, tal y como afirma Pisticelli (1995, 20), *nunca como hoy fueron tan grandes las posibilidades que ofrece la tecnología y nunca como hoy estas posibilidades se ignoraron, ocultaron o despilfarraron.*

Esta dicotomía no es nueva, puesto que, desde Newton, se han descrito dos comunidades bien diferenciadas: la de los científicos y la de los artistas e intelectuales, caracterizadas, según Berenguer (1997), *por haber perdido sus raíces comunes así como la capacidad de comunicarse entre sí.* El origen de esta ruptura es que el método científico juega con la lógica y la racionalidad, mientras que el artista usa la imaginación y la emoción.

La Ciencia, actualmente, no puede evitar las consideraciones morales y sociales de sus descubrimientos. La clonación, la energía nuclear, etc., han supuesto diferencias entre los miembros de la comunidad científica, al reconocer que no sólo se debe tener en cuenta la racionalidad de la propia ciencia, sino que la ciencia debe inscribirse dentro de los planteamientos éticos de la propia sociedad. Por otro lado, ciencias como la astronomía hacen un uso, cada vez mayor, de la imaginación y la metáfora, que son aspectos más propios de la

comunidad artística e intelectual.

Esta última comunidad, en cambio, está mucho menos activa y abierta que la científica. Las vanguardias han agotado sus formas de expresión debido, principalmente, a una crisis en los lenguajes de expresión y en los soportes clásicos, que no han evolucionado desde hace tiempo.

La tecnología, aspecto integral de la comunidad científica, es la que ha revolucionado, en nuestros días, los lenguajes de expresión y los soportes comunicativos. La informática y la imagen digitalizada han sido el revulsivo que necesitaba la comunidad artística para desarrollar nuevos cánones estéticos. Paul Brown, artista y educador, afirma en Berenguer (1997) que *el historiador de arte del futuro, al analizar este fin y comienzo de milenio, verá que los principales impulsos estéticos han provenido de la ciencia y no del arte... Quizá la ciencia esté evolucionando hacia una nueva ciencia llamada arte, quizá el propio arte, al menos el arte que hemos conocido en este último cuarto de siglo, ha dejado de tener ninguna utilidad social.*

No obstante, la separación, entre arte y ciencia no siempre ha estado presente. En la época griega no existía tal distinción, ya que todo era *Techné*, es decir, arte, habilidad, técnica, destreza. Esta *Techné* era transmitida entre generaciones por medio de la oratoria, siendo Platón el que inaugura el ataque contra esta transmisión oral del conocimiento, favoreciendo a la tecnología - el libro- como mejor medio para cumplir esta función. La escritura permitió que la sabiduría se convirtiera en algo duradero y, de este modo, la cultura pudo ser transmitida entre generaciones, lo que permitía un mayor desarrollo de la misma.

A pesar de esta ruptura, en cuanto al soporte, la ciencia y el arte siguieron unidas en el tiempo, siendo Leonardo da Vinci el máximo exponente de síntesis de los dos oficios.

Hasta el siglo XVIII, tanto los soportes como los materiales que usaban los artistas para realizar su obra, eran totalmente naturales. Poco después, la investigación química creó nuevas sustancias como el blanco del titanio, los amarillos del zinc,... , hasta llegar a la pintura acrílica del siglo XX. No obstante, nunca existió una ruptura entre arte y tecnología desde el punto de vista instrumental.

El divorcio surgió, como hemos mencionado anteriormente, con Newton y su método mecanicista del universo. La racionalidad se impuso en la ciencia, mediante una línea de investigación que trataba de aprovechar mejor los recursos en detrimento del hombre. El desarrollo tecnológico de la revolución industrial, llevó a crear máquinas que ahorraban el esfuerzo humano pero que favorecían la deshumanización de la producción. Los artistas se revelaron contra este hecho llegando a afirmar que *el artista y la máquina son absolutamente incompatibles* (William Morris). Este enfrentamiento radical estuvo presente durante el siglo XIX y buena parte del siglo XX.

A principios de este siglo, los *futuristas* hicieron de la tecnología su base para la creación artística. Trataron de crear nuevas formas usando la máquina como aliado e, incluso, como obra susceptible de valoración estética. Filippo Marinetti, en 1909, declaró que *el automóvil es más bello que la Victoria de Samotracia*.

El movimiento futurista constituye el precedente más directo de la actual tendencia que inspira la práctica conjunta de arte y tecnología. En esos momentos, el *futurismo* creó las bases para una nueva serie de tendencias artísticas que centraban su existencia en la oposición o explotación de la tecnología en el arte.

El *dadaísmo*, con artistas como Marcel Duchamp, Max Ernst, Man Ray,..., hizo aparecer a la máquina en muchas de sus obras.

Los *constructivistas*, como Lazar Lissitsky, Vladimir Mayakovsky y Vladimir Tatlin, basaban su arte en la realización de obras que sensibilizaron nuestra percepción tanto en el espacio como en el tiempo. El movimiento, propio de tecnologías como el cine, era clave en sus obras artísticas.

La escuela *Bauhaus*, fundada por Walter Gropius en Weimar durante el año 1919, propuso una enseñanza de las artes y de los métodos artesanales de las escuelas de oficios propios de la Edad Media. La Bauhaus promulgaba el trabajo en equipo y promovió los valores artísticos del diseño industrial, una disciplina en la que conviven tanto los valores artísticos como los técnicos.

En esos momentos, apareció la idea de que la obra de arte, única e irrepetible, había desaparecido en favor del arte como objeto de consumo, aunque sin dejar de perder su valor. Aparecieron los técnicos que se convertían en artistas y, en los años 60, las artes basadas en la tecnología, algunas de las cuales permanecen en nuestros días como referentes artísticos y conceptuales.

El mundo de la ciencia y del arte juntaron sus caminos de modo irreversible. En Europa, se crearon grupos como ZERO y GRAV donde el trabajo artístico era aliado de la tecnología. Andy Warhol llamaba a su estudio "La Factoría" y, en EEUU se fundó EAT (Experiments in Art and Technology), en la que la autoría de las obras de arte se repartía entre el artista y el técnico.

Además, la popularización de un instrumento tecnológico como el de la televisión, hizo que numerosos artistas encontraran en este artilugio el medio donde expresar sus ideas. Surgen, entonces, los videoartistas que, a través de la manipulación de la imagen, producirán obras alternativas al cine y a la televisión.

Durante la década de los 70 se empezó a abrir una nueva vía de síntesis entre la tecnología y el arte, gracias al ordenador. En 1984, IBM lanzó al mercado el primer ordenador

personal que, a un costo razonable, podía manipular tanto texto como imágenes. Este fue el comienzo de la era de la informática aplicada al arte, sobre todo, con respecto a la creación de lo que se empezó a denominar imágenes sintéticas. Ian Paluka, en 1983, anunció que, gracias a este tipo de imágenes, la frontera entre el artista y el científico había desaparecido.

El ordenador, además, abre nuevas capacidades de expresión al artista, puesto que el ordenador proporciona todos los colores existentes en la naturaleza y las cuatro dimensiones (tres espaciales y el tiempo), mientras que el artista, hasta la llegada del ordenador, sólo podía trabajar con dos o tres dimensiones y unos pocos colores disponibles en su paleta.

El ordenador es capaz de crear o simular vida, en lo que se ha dado por llamar *vida artificial*, siendo esta nueva ciencia la última forma de creación artística. La programación en el ordenador hace que se generen criaturas y los entornos en los que se deben adaptar, siendo el artista, el que con su criterio estético, y el científico, con su criterio racional, sugieren cuales de las criaturas son las más aptas para seguir desarrollándose en ese entorno.

La realidad virtual es el último paradigma donde el campo científico y el artístico e intelectual se han unido para siempre. La realidad virtual es un espacio de interacción total que trata de simular el espacio real, por lo que se necesitan los conocimientos científicos para saber cuáles son los modos de percepción del ser humano, los criterios artísticos para hacer de esos mundos artificiales un lugar deseable para la interacción, y los aspectos filosóficos e intelectuales para crear un mundo donde las leyes de interacción sean las más justas y adecuadas posibles.

La realidad virtual tiene un potencial comunicativo extraordinario, por lo que los aspectos sociales se verán influenciados. Hay que tener en cuenta que el arte tecnológico es, según Berenguer (1997) un *modo de expresión vivo, cada vez más accesible y con tendencia a remover los cimientos del arte tradicional. Este arte, surgido del binomio ordenador-persona, técnica-creación, razón-intuición,... es diferente porque, entre otras razones, no suele tener precedentes.*

Actualmente, el artista encuentra totalmente satisfactoria la utilización de la tecnología como medio de expresión. Hay una tendencia a pensar que la tecnología, al sufrir continuas innovaciones, supera al artista. La corriente actual es que la tecnología debe ser medio de expresión y no símbolo de actuación, es decir, tal y como afirma Rötzer (1994, 25) *son el arte y el artista los que ahora deben ser creados para cierta tecnología.*

No existen unos cánones estéticos totalmente definidos en el arte computacional debido, principalmente, a las constantes innovaciones de la tecnología. Desde la aparición de la fotografía y el cine, el arte basado en una determinada tecnología, debe estar unido al comercio. El arte virtual debe encontrar su nicho en el mercado para consolidarse como

movimiento artístico dentro de la cultura social.

La característica fundamental del arte y, por consiguiente, de la cultura actual, es que ha dejado de prevalecer la estética sobre la objetividad. La fascinación estética se ha convertido en objeto de estudio sin relevancia, siendo lo importante el grado de interacción que disponga la obra. La sociedad actual busca la mejor interacción con el entorno tecnológico, más que la perplejidad ante la obra de arte. El rasgo distintivo del arte computacional es la imagen en movimiento y la construcción de entornos que son capaces de reaccionar ante la manipulación del usuario. La sociedad actual demanda una cultura interactiva donde cualquier forma de expresión artística sea manejable o finalizada en su construcción, por parte del usuario.

La nueva sociedad demanda interactividad en todas sus expresiones y que el arte y la tecnología vayan parejos.

En cuanto a la cultura unida a la tecnología como medio de difusión cultural - idea iniciada por Platón-, la imprenta hizo de la transmisión cultural el primer negocio de producción masiva. La tipografía creó la posibilidad de hacer una mercancía repetible y, por lo tanto, de posibilitar una mayor difusión del conocimiento. Este factor, unido a otros, desembocó en la revolución científica de los siglos XVII y XVIII, puesto que un mayor número de científicos de todo el mundo establecían contactos a través de sus escritos que eran distribuidos por todas partes, gracias al poder de difusión de la imprenta.

La tecnología aporta, desde sus orígenes, la infraestructura necesaria a un desarrollo cultural mayor gracias a la posibilidad de difusión de la misma.

Hasta nuestros días, el conocimiento se ha transmitido a través de la escritura. La realidad virtual inicia la era en la que la imagen suplanta a la escritura como medio de transmisión cultural. El discurso racional, propio de la tradición escrita, se puede ver reemplazado por un procesamiento icónico de la información. En la tradición cultural se produce, por tanto, una revalorización de la imagen en detrimento de la palabra.

Pero este hecho no es nuevo. La primera herramienta de comunicación que el hombre inventó fue el dibujo, ya fuera para pintar o para escribir. La invención de las tecnologías de la comunicación, siempre fue dirigida a la instauración y a la transmisión del hecho comunicativo. Las últimas invenciones (fotografía, cine, televisión, radiofonía,...) son la última expresión de acercamiento de la comunicación a nuestros sentidos puesto que, a través de dichas herramientas, activamos directamente la organización perceptual.

Si la imprenta supuso una revolución en la transmisión cultural, el ordenador - última de las herramientas creadas por el hombre para la comunicación- supone una revolución en la forma en la que el hombre se relaciona con su entorno. La máquina informática para Cadoz (1995, 71) *interviene por sí sola en tres ámbitos, el de la acción, el de la observación y el*

conocimiento de lo real, y el de la comunicación. Estos tres factores se constituyen como el ámbito de acción del ser humano en su relación con el entorno. El patrimonio cultural está sustentado en la observación y conocimiento del entorno o lo real; una vez conocido este factor, el hombre trata de comunicarse en ese medio mediante acciones que, en primer lugar son físicas, para pasar a las intelectuales cuando está plenamente acomodado en ese medio. En este punto aparecen los aspectos culturales que perpetúan la sociabilidad del ser humano con relación a su entorno. El ordenador es una máquina que intenta influir directamente en esta relación e, incluso, intenta simular esta interacción básica del hombre con su entorno. A través de la realidad virtual somos capaces de crear "espacios reales simulados" que sustituyen las interacciones naturales del ser humano con el mundo real. La reconstrucción de un espacio arquitectónico, el manejo de datos para poder tratar al paciente en una mesa de operaciones, el manejo de datos bancarios, etc , son algunas de las interacciones que la realidad virtual han sido capaz de generar artificialmente para suplantar, con éxito, a las mismas interacciones reales.

En este mundo cultural artificial cualquier hecho es posible. La diferencia con el mundo real es que en el mundo artificial apenas logramos alterar nuestros sentidos, aunque el intercambio de información es tan abundante que nuestros conceptos se ven modificados continuamente. La máquina, en ese afán por interponerse entre el hombre y el entorno, libera al actor del cansancio de la gestualidad y fabrica clones virtuales que sustituyen el trabajo interactivo del ser humano con el entorno. El hombre, no obstante, debe crear ese entorno virtual que le libera de la interacción y, para ello, crea una representación que intenta imitar el mundo real en toda su extensión.

La imagen se convierte en la base creadora y sustentadora de ese nuevo mundo artificial. Pero la imagen no dota a este mundo de todas las características del que goza el real, puesto que aspectos como el olor, el sabor, etc, no tienen cabida en este mundo artificial. La realidad, por tanto, no queda totalmente relegada, sino que sigue siendo necesaria para satisfacer todas las necesidades del ser humano. La nueva cultura emergente de los mundos artificiales es una cultura aséptica, propia del universo icónico, donde todo ocupa su lugar en un marco previamente definido. No es una cultura de lo tangible sino una cultura de la iconicidad y plasticidad y, por lo tanto, de la artificialidad.

Las nuevas culturas que surgen de este factor responden, por tanto, a una base icónica. Esta cualidad la hace fácilmente repetible y predispuesta a ser almacenada en grandes discos duros de información que posibilitan el acceso de cualquier persona en tiempo real y en cualquier momento.

La nueva cultura está, por tanto, apoyada en la tecnología y, en su origen, la idolatriza.

El principal problema que encuentra para su implantación, es el de la representación.

La realidad virtual no es más que un interface que facilita la relación con la máquina al constituirla como un entorno con el que se puede interaccionar. Se convierte en el germen de una cultura integradora, basada en la interactividad, y dispuesta en torno a mundos creados por el propio hombre según sus necesidades particulares y domina, por tanto, el entorno en el que se desarrolla la cultura.

Si hubiera que poner un nombre a la época cultural en la que estamos inmersos, debería ser el de *neobarroco*. Las características esenciales de la estética neobarroca que propone Pisticelli (1995, 98) son: *a) teratología o gusto literario por los monstruos; b) fascinación por los laberintos; c) oscuridad conceptual; d) matemática de los conjuntos; e) entropía; f) negro como emblema ciberpunk; g) culto al héroe, donde la admiración de la fuerza sustituye a la seducción por la inteligencia, y h) estética de alta fidelidad.*

Estos conceptos provienen tanto de los analistas culturales como de los actores sociales que, con sus trabajos, están creando esta nueva era cultural. Al analizarlos uno a uno, observamos que están muy relacionados con el prototipo de modelo social impulsado por los grandes medios de comunicación de masas. Además, tanto el gusto por los monstruos como la fascinación por los laberintos, son características esenciales de los videojuegos, por lo que el mundo de la informática entra de lleno como factor mediático en la nueva cultura. Los escenarios virtuales recurren a esta construcción laberíntica como principio constructor del espacio artificial en el que se sumergen los cibernautas.

La búsqueda de la perfección y de la pulcritud paisajística crean la llamada "estética de alta fidelidad". La entropía, es decir, el orden, como base fundamental del sistema. No hay lugar a la imperfección puesto que el medio en el que se desenvuelve el espacio cultural, está caracterizado por una perfección máxima en el que la única barrera tecnológica a superar es la velocidad de transferencia de datos, problema que, día a día, se va superando.

No obstante, esta fascinación absoluta por la máquina hace que no se desarrollen en toda su plenitud la mayoría de conceptos, tanto estéticos como culturales, que se generan de forma vertiginosa en este nuevo espacio virtual de comunicación. El concepto artístico ya no viene de la genialidad del artista, sino que se limita a las posibilidades tecnológicas de la herramienta, es decir, del ordenador. Esta limitación hace que el artista se encuentre prelimitado en su imaginación y esté predispuesto a la búsqueda superficial, dependiendo de las posibilidades que le aporte la máquina, de nuevos conceptos artísticos y culturales.

Por otro lado, la rapidez con la que se producen los adelantos técnicos unido a la calidad de la comunicación en tiempo real, hace que los conceptos creados no se desarrollen en toda su plenitud, puesto que lo importante, en esta época neobarroca, es la innovación más que

la profundización. La oscuridad conceptual proviene de su falta de desarrollo más que de la cantidad de nuevos conceptos generados. La nueva sociedad se mueve mucho más rápido que lo que la mente tarda en asimilar los nuevos conceptos. La conclusión más evidente es que la "mente tecnológica" está mucho más desarrollada que la "mente filosófica", en esta era en la que nos encontramos.

No es raro, por tanto, que el negro se haya convertido en el símbolo del mayor exponente social de esta época: el movimiento ciberpunk. La década de los sesenta trajo consigo una reivindicación del color como símbolo cultural. Los colectivos y su entorno social eran el germen de todo un movimiento filosófico que cambió el mundo. En contraste, este final de siglo está suponiendo una vuelta al individuo y su entorno más cercano como centro filosófico y cultural. La soledad del negro es el mejor símbolo para representar esta falta de interrelación humana, en favor de la comunicación entre máquinas.

El culto al héroe se dirige hacia aquellas personas que son capaces de dominar un mayor número de herramientas tecnológicas para crear su nuevo concepto de arte. El hecho cultural se está volviendo individual, no es un arte para las masas sino que está dirigido a pequeños colectivos con afinidades comunes. El líder de estos pequeños grupos no es aquel que tenga un grado mayor de inteligencia, sino el que disponga de un equipo lo suficientemente potente como para crear una página Web y, de este modo, poner en contacto a estas personas con gustos comunes. Como ya hemos dicho, la base predominante de toda actividad cultural, en este fin de milenio, es la interactividad, no la discusión conceptual.

La tecnología audiovisual apareció como puro espectáculo en los siglos XVIII y XIX. La aparición de la electrónica y su capacidad de digitalizar para, de este modo, tratar el texto y la imagen por igual, cambió el modelo psíquico de entender lo real. La interacción con las imágenes y los textos digitalizados es el punto final que se necesita para crear la base en la que la cultura se transforma.

La vida no es una experiencia monosensorial sino que, junto al aprendizaje, se caracteriza por experiencias multisensoriales. Aprendemos de todos los componentes que crean nuestro entorno, al mismo tiempo que somos capaces de desarrollarnos en él.

Las bases de datos actuales se generan en esta línea y describen tanto imágenes, como texto y sonidos. Proveen representaciones del contenido lo que, evidentemente, cambia el estilo en el que se presenta y organiza el conocimiento. El conocimiento es algo que, a lo largo de la historia, se ha tratado de almacenar, ya fuera en grandes bibliotecas como en las grandes bases de datos electrónicas que existen actualmente. Las necesidades que tiene un usuario al buscar una determinada información deben ser satisfechas con las formas de presentar y almacenar dicho conocimiento.

Cuando hace 40 años, los laboratorios Bell crearon el transistor, no podían estar seguros de la implicación social que iba a acarrear el uso de este aparato. Desde la comunicación vía satélite hasta la comunicación, vía red telefónica, a través del ordenador personal, el uso del transistor está presente.

En 1968, el establecimiento de la red ARPANET como espina dorsal de las comunicaciones militares en EEUU, se constituiría en la base de la red de telecomunicaciones más importante de la actualidad: la red INTERNET.

En 1987, ARPANET acabó sus días por la congestión en sus redes de transmisión debido a la gran demanda solicitada. Su sucesora fue la NSFNET (National Science Foundation NET) cuyas primeras líneas transmitían 1,5 megabytes por segundo, mientras que las siguientes líneas -la llamada T-3- ya lo hacían a 45 megabytes por segundo.

Las comunicaciones internacionales hicieron que esta nueva red no resolviera todas las necesidades de los usuarios red. INTERNET se creó para satisfacer las nuevas demandas internacionales de comunicación.

La nueva forma de presentar el conocimiento había adquirido, a principios de los 90, una dimensión de unas proporciones tan exageradas que, en poco tiempo, se ha convertido en la más extendida forma de adquisición de datos. INTERNET ha revolucionado el modo de interactuar con la información y la manera de presentar los datos con lo que se resuelven las demandas de los usuarios. INTERNET es la red con más potencia comunicativa en la actualidad, por lo que todos los gobiernos están intentando controlar este sustento de la base cultural del milenio que viene.

La realidad virtual es el mejor interfaz para la "navegación" en las inmensidades de este espacio informativo de contenidos culturales. El factor más importante de esta tecnología es que, en dicho interfaz, el usuario busca los datos e interactúa con el sistema de un modo bastante similar a como lo hace en el mundo físico. La interacción a tiempo real con los datos, habilita la capacidad de aglutinar y relacionar nuevas vías de explorar el conocimiento para un mejor desarrollo del mismo.

Este nuevo espacio virtual de imagen y texto es empleado como medio de negocio, cultural, artístico y de poder. Su poder de influencia social adquiere, en estos términos, una gran extensión. La tendencia consecuente es que grupos con afinidades comunes se reúnan en torno a un mismo espacio. A estos grupos se les conoce como *comunidades virtuales* y están empezando a constituirse como grupos de influencia ajenos al poder estatal. La red, que en la mayoría de los casos suele estar controlada por los gobiernos, les aporta la infraestructura necesaria para la difusión de sus ideas en el ciberespacio, aspecto éste incontrolable, hasta nuestros días, por los propios gobiernos.

Las comunidades virtuales son algo infinito en el sentido de que no tienen principio ni fin, es decir, el punto de inicio no es uno sino varios y, debido a su crecimiento radial, no tiene un punto final. La comunidad virtual podría ser, en un futuro, toda la masa de población humana. Las redes telefónicas se constituyen en el nexo de unión entre las diferentes comunidades, tal como está ocurriendo, hoy en día, con el correo electrónico.

La telepresencia, tecnología integradora de la telefonía, radiofonía y televisión, ha consolidado el espacio de actuación dentro de las comunidades virtuales. Gracias a la telepresencia podemos interactuar en mundos inaccesibles, mundos ficticios, etc., y, sobre todo, podemos poner en contacto grupos humanos diversos en espacios virtuales y sin tener la necesidad de estar presentes en ningún otro espacio predeterminado para ello.

La realidad virtual emplea herramientas como el casco o la Cave para interactuar con otras personas en entornos virtuales. La telepresencia hace posible la creación y difusión de comunidades virtuales, porque no necesitamos de esta tecnología ni de otras, que no sean un teléfono y una pequeña cámara de televisión situada en el ordenador, para relacionarnos con otras personas en entornos artificiales situados en el ciberespacio.

La idea de comunidad virtual surgió, en 1985, de la empresa Lucasfilm Games, que desarrolló el proyecto Habitat en asociación de Quantum Computer Services, para toda la zona de San Francisco. En este entorno multiparticipante se jugaba a un gran juego de rol, que podía durar años, sobre una plataforma Commodore 64. El entorno era construido a partir de gráficos muy simples y los participantes sólo podían ver la pantalla en la que se movían. Cada miembro de la comunidad era representado por un avatar, en forma de humanoide, los cuales podían coger objetos, cambiarlos de lugar, gesticular e, incluso, hablar con otros avatares. El mundo de Habitat estaba formado por veinte mil regiones independientes y, para pasar de una a otra, tan sólo era necesario que el avatar se desplazara hasta los extremos de la pantalla o que atravesara las distintas puertas que estaban situadas en cada región. En cada una de ellas había objetos que definían los pasos a seguir por los participantes como, por ejemplo, los cajeros automáticos en los que los avatares podían coger dinero para comprar otras cosas.

Según Quéau (1995, 68), las conclusiones de Habitat no fueron tanto el efecto como *el comportamiento de los participantes entre sí y las finalidades comunes que perseguían*. La importancia del concepto "espacio compartido de colaboración" empezó a surgir de esta experiencia, así como, la consideración de que los avatares eran simples robots teledirigidos o extensiones simbólicas de los seres humanos.

Estas dos ideas siguen, actualmente, vigentes en cuanto a su discusión. El cuerpo físico de un ser humano no puede traspasar las fronteras virtuales de los mundos artificiales, así que necesita de "clones" que operen en su lugar, por los espacios virtuales compartidos.

Técnicamente, hoy en día, se puede dotar a un clon del rostro de su "dueño" real tan sólo filmando la cara del usuario, además de ser posible transmitir los gestos en tiempo real a través de la red telefónica. El usuario, no obstante, podría disponer de varios "clones", asociados a su persona, con comportamientos totalmente diferentes. La persona podrá disponer, entonces, de disfraces virtuales que podrían evitar que se le reconociera en parte o en su totalidad. Una persona podría adoptar la figura de un modelo como "clon", y ésta sería la forma en la que se le conocería dentro de la comunidad o, en otro caso, si nos encontramos en una comunidad virtual dedicada al mundo de los negocios, existiría la posibilidad de que un mismo ejecutivo actuara en dos bandos distintos con tan sólo tener dos "clones", uno en cada bando del negocio. Actualmente, estos dos casos se dan continuamente en el correo electrónico puesto que una misma persona puede disponer de varios buzones con distintos seudónimos.

El paso siguiente es el de la creación de agentes virtuales con capacidad de toma de decisiones en nombre del usuario. Estos agentes virtuales podrán tomar formas humanas, más o menos, realistas, y no son meros instrumentos de manipulación por parte del usuario, sino que gozan de una cierta vida propia cuya importancia radica en las funciones de toma de decisión que les da el "dueño" del mismo. El usuario que dispone de agente virtual tiene la potestad de variar el guión de la vida del clon diariamente y dependiendo de los encuentros virtuales hechos en la red.

Estos clones virtuales pueden ir mejorando su comportamiento a medida que actúan, es decir, aprenden a medida que van "viviendo". Pero, por otro lado, si son atacados por un virus pueden terminar escapando al control de su creador. El Golem de Praga o Frankenstein se convertirían en realidad. Si un clon puede terminar escapando de su creador y gozar de vida propia y, podemos activar agentes virtuales con cierta autonomía de pensamiento, la red puede llegar a convertirse en un entramado de pensamientos nuevos que escapen a la lógica humana.

La cultura en la red se constituye, de este modo, a partir de puntos de vista parciales e incompletos. Este punto de vista explicaría la rapidez con la que nacen, crecen y mueren los movimientos culturales que surgen en la red. Ninguno de ellos está sentado sobre unos cimientos fuertes, sino que se basan en probabilidades según las relaciones entre agentes virtuales culturales en determinados momentos. La naturaleza de la red, además, es totalmente descentralizadora, es decir, no hay un punto de partida, sino que todo empieza y acaba en distintos puntos del espacio virtual. Una "chat" puede empezar en Madrid con unos determinados actores virtuales y terminar en Seúl, con otros actores y varios días después.

La tendencia cultural, por tanto, es huir de la centralización para penetrar en la globalización, lo que supone un flujo de ideas en continuo movimiento de ida y vuelta.

No obstante, y según nos advierte Quéau (1995, 71), *una anarquía demasiado radical*

de la red sólo puede socavar los mismos fundamentos que la hacen posible. Sin duda, nuevas formas algorítmicas de control permitirán limitar los abusos a costa de restringir las libertades de expresión y de comunicación. Esta tendencia natural es inevitable, puesto que cuando los mundos virtuales estén ampliamente extendidos en el espectro cultural humano, pasarán a formar parte de lo real para llegar, en este aspecto, a poder distinguirse de esa realidad. Al formar parte de nuestro entorno cultural, tendrá que seguir unas determinadas pautas de comportamiento que la propia sociedad exige a todos aquellos aspectos nuevos que aspiren a estar totalmente integrados en la misma.

La necesidad de tener plena libertad de expresión exige utilizar referencias establecidas previamente para llegar a marcar los límites de esa libertad. La red, que al estar en su estado primitivo, goza de plena libertad y, en nuestra opinión, de su mejor época, pasará a ser controlada por ella misma para que, de este modo, adquiera la categoría de medio social de comunicación de masas.

En nuestros días, la red goza de una ilimitada fuerza creadora, desde el punto de vista de la cultura, puesto que no hay nada hecho en la misma, sino que todo está por hacer. En este entorno, tienen cabida desde las ideas más interesantes a las más supinas. El hecho es que el primer movimiento cultural que ha salido de la red para instalarse en la literatura ha sido el movimiento *ciberpunk*, con William Gibson, como máximo exponente. Este movimiento parte de un ensalzamiento de la tecnología como base sustentadora del conglomerado social e, incluso, de la propia evolución humana. William Gibson y Bruce Sterling escribieron, en 1992, "The difference engine" en la que ponen de manifiesto según recoge Pisticelli (1995, 103), *el carácter irreversible de las tecnologías informacionales al suponer que su influencia en la sociedad y en los individuos es prácticamente la misma, independientemente de las veces que hagamos correr el programa evolutivo, ya que la computadora eliminaría el azar.*

La computadora, no obstante, sí puede eliminar el azar. En el momento que damos poder de decisión a un actor virtual, estamos entrando en las leyes de la probabilidad dependientes de la actuación de los mismos dentro de la red.

La creación de clones o agentes virtuales que hagan la función de policía dentro de la red, es algo que está a la orden del día. El problema radica en quienes crearán estos actores y con que leyes se guiarán. A pesar de todo, los propios usuarios de la red se autocensuran y marcan las normas internas. Un ejemplo serían los lazos azules, símbolos de la no-violencia, que aparecieron en la página web de Herri Batasuna a raíz de los últimos asesinatos de ETA. Pero, por otro lado, si los agentes virtuales tienen el poder de tomar decisiones en lugar de su creador, también estarán sujetos a las leyes que rijan su vida y la de su evolución dentro de la red. Los agentes virtuales no son entidades arbitrarias, sino que representan a seres humanos

reales, y esto complica las formas de relación entre ellos. No hay que olvidar que no son más que representaciones virtuales de un ser humano pero, al cederles la capacidad de decisión, adquieren la esencia del humano y, esto, debe ser tomado en cuenta a la hora de actuar a favor o en contra de los mismos dentro del movimiento anárquico que dirige la red.

La existencia de una ética dentro de la red debe ser promulgada. La manipulación por parte de piratas informáticos de los agentes virtuales y la introducción, por parte de los mismos, de virus informáticos, podría dirigir la red en beneficio de unos pocos. La información se convertiría en el botín más preciado y las grandes compañías podrían estar dispuestas a adquirirla, como medio de espionaje industrial, a cualquier precio. La estructura de la red hace que el anonimato sea la base de un sentimiento de impunidad para cometer fechorías hacia los demás.

El límite existe. La complejidad de lo que podemos asimilar es finito. La capacidad de engendrar en la red es, por el contrario, ilimitado. El nivel de representación va mejorando a medida que avanza el desarrollo tecnológico y el número de usuarios integrantes de la red. Estos dos factores también constituyeron el germen del desarrollo social real, por lo que la consecuencia lógica es la creación de una sociedad virtual con una cultura concreta y específica para ella, basada en la interactividad.

Las relaciones sociales se verán modificadas a través de mundos inexistentes pero con vida propia. Podremos establecer contactos con individuos que nunca hayamos visto, y entablar relaciones afectivas que pueden llegar, incluso, a la amistad. El desarrollo, por tanto, de las comunidades virtuales *puede difuminar las fronteras entre las categorías psicológicas habituales y los tipos de relación que mantenemos con los demás*, tal como nos indica Quéau (1995, 75). La simulación de la personalidad en figuras que nos representan pero que no nos descubren como personas totales, sino como una preconceitualización de lo que queremos que vean los demás de nosotros, hace de las relaciones sociales en la red una forma de presentar el artificio y escapar, cada vez más, del mundo real que nos rodea y del que, desde el principio de la humanidad, hemos tratado de superar.

La seudonaturaleza que estamos tratando de crear está basada en un conjunto de técnicas que el mismo hombre está creando, independientemente de los factores naturales, que nos conduce a marcos estables de pensamiento, para evitar la inestabilidad de lo natural, y a normas sociales impuestas a partir del propio artificio que supone la tecnología.

La tecnología, no obstante, se asegura su propia supervivencia basándose en los mismos principios en que lo hace la naturaleza, y que para Quéau (1995, 76) son: *evolución, adaptación, principios internos de movimiento, referencias a sí misma*,.... En los mundos virtuales propuestos por la tecnología, el sujeto y el entorno no están claramente diferenciados

sino que tienen el mismo origen puesto que, ambos, deben ser creados artificialmente para entablar relaciones y, tanto el sujeto como el entorno, son propensos a manipulaciones diarias, a conveniencia del creador, que no los hacen gozar, en ningún momento, de una independencia total de uno respecto a otro. Si cambia el entorno, cambia el sujeto, y si cambia el sujeto, cambia el entorno. También son así las leyes de la naturaleza.

Este nuevo mundo virtual facilitará la creación de nuevas formas de percepción y comprensión del entorno de la información, pero no de las formas culturales, radicalmente distintas a las ya existentes. La concepción del espacio y del tiempo cambian en un universo ficticio donde no existen las barreras y, donde el aquí y el ahora, no tienen principio ni fin. Las barreras y las fronteras quedan limitadas a la transmisión tecnológica de datos. El universo atemporal e inespacial impondrá sus dominios en una nueva forma de concebir y presentar la información. La cultura no surge, por tanto, a partir de la pura reflexión filosófica, sino de la cantidad de datos existentes en la red.

Además, las nuevas formas de representación se asemejarán cada vez más a lo real por lo que, un público mal informado, podría ser propenso al engaño. Hay que tener en cuenta que las comunidades virtuales también, de algún modo, pertenecen a lo real. La diferenciación entre nuestro Yo y nuestra representación virtual no se diferencia claramente, en muchos casos, puesto que si queremos actuar en la red lo hacemos con nuestra representación y, para ello, le dotamos de nuestra voluntad, por lo que, al final, nuestra representación es una parte importante de nosotros mismos que nos es difícil diferenciar dentro de las relaciones que establezcamos dentro de la comunidad virtual. Hay que tener en cuenta que todas las acciones que desempeñemos en la red repercuten en nuestra vida real, puesto que las acciones del hombre siempre se realizan para un determinado fin.

Las comunidades virtuales son al fin y al cabo, un reflejo de las comunidades sociales reales. Los individuos que la componen terminan por establecer lazos afectivos y de colaboración, al igual que en las comunidades reales. El individuo, no obstante, está doblado en dos, puesto que establece relaciones en el mundo real, a partir de su Yo físico, y en la comunidad virtual, a partir de su Yo virtual. Dentro de este último aspecto, puede establecer o crear un Yo que no le defina a él como persona, sino que sea realizado a través de las fantasías de lo que al individuo le gustaría ser. El desdoble psicológico es evidente y, la individualidad, se camufla en función de un objetivo.

El individuo adquiere una mayor productividad, pero está cada vez más solo a pesar de estar conectado con el mundo entero. Además, el individuo virtual no tiene ninguna probabilidad de entrar en la sociedad real con las mismas condiciones que poseen los individuos reales. La consecuencia es que los actores virtuales no gozan de libertad real, sino

que dependen de sus creadores para que, cualquiera de las decisiones que tomen, sean tenidas en cuenta.

En el lado contrario, el hombre se resiste a la pérdida de los lazos que le unen con la realidad, es decir, aunque se comunique en la red a partir de actores virtuales, siempre vuelve a su cuerpo real, esencia de su existencia. Así, Quéau (1995, 77), nos dice, que *sea cual sea el grado de virtualización, el cuerpo real sigue siendo íntimamente consciente de sí mismo*. Esta vuelta a uno mismo, que la literatura ha tratado de desmitificar acusándola de imposición antiliberatoria del ser humano, no debe suponer ningún trauma, ya que el individuo debe utilizar las comunidades virtuales como mera herramienta no como soporte vital.

Aún así, la gran virtud del ser humano es su atracción por el riesgo y la cultura cibernética elimina este factor para un mejor funcionamiento del sistema. La nueva cultura virtual es más propensa al control, a la falta de libertad que provoca la manipulación e interacción entre factores que, inevitablemente, han sido preprogramados. La capacidad artística procedente del ordenador llega a unos resultados que huyen del azar y de la aleatoriedad. Tenemos la posibilidad de emplear, absolutamente, todos los colores del espectro, pero el color que elegimos es uno determinado con unas características prefijadas, que el ordenador interpreta como código matemático y que tiene un resultado en el total que ha sido predefinido en el software del programa. La innovación se produce en la capacidad técnica de la obra, es decir, en el programa a emplear, no en la combinación de elementos para obtener un resultado impredecible. Para realizar los dinosaurios de Spielberg se creó, previamente a su ejecución, un nuevo programa de diseño y, en ningún caso, fueron producto de la imaginación de un artista que quiso ver en esos dinosaurios el resultado de un pensamiento.

La ubicación de esta neocultura fría, sin imaginación, es la gran ciudad. La urbe es el centro integrador de todos los puntos de vista, ya que es el germen globalizador de donde parten todas las redes. El ciberpunk siempre ha tenido este factor en cuenta y ha convertido la ciudad en el eje estructural de toda su conceptualización artística. El actor postmoderno es un personaje urbanita, enchufado a la red, que vive y se relaciona en ella, y cuyo espacio vital va reduciéndose, poco a poco, en torno a la red. La alteración del mundo real, característica propia de la mentalidad artística, se consigue a través de la manipulación de datos, y la realidad virtual se convierte en la mejor herramienta para conseguirlo.

La realidad virtual aporta al cibernauta la posibilidad de vivir experiencias alternativas o de los demás, puesto que en un mismo ciberespacio se pueden acumular datos de todas las demás experiencias vividas por los otros usuarios. En la novela "Neuromante", de William Gibson, el protagonista es un "cowboy cibernético" que, continuamente, está enchufado a un ordenador central a través del cual vive experiencias omnisensoriales a partir de otras vividas

por los demás. De este modo, logra controlar la vida del resto de los individuos, puesto que cada persona se refleja en la experiencia sufrida en la propia red central.

Esta cultura oscura, manipuladora, encuentra en la imagen el mayor referente de atracción. Todas las artes deben reducirse a la expresión iconográfica, incluso, la literatura, ya que el hipertexto es una forma de relacionar el texto con la imagen desde un punto de vista icónico, para situarlo o englobarlo en el espacio cibercultural que constituye la propia red.

La imagen pasa de ser construida por el conocimiento a erigir el propio conocimiento. Esta es la clave fundamental de la nueva cultura. La imagen deja de ser creada a través del imaginativo pincel de un artista, para ser descompuesta en superficies matemáticas simples, base estructural de la construcción de un objeto informático. La integración de diversos objetos, contruidos de modo independiente, en una escena, compone la generación de una imagen. Esta visión estructuralista entra en completa concordancia con la visión estructural de la nueva cultura que constituye el eje de lo neosocial. La tecnología, eje estructurador de la nueva cultura, aporta una descomposición en formas simples del pensamiento, que es la forma en la que trabaja la tecnología.

Los conceptos, por tanto, dejan de existir como raíz central del sistema cultural. El conocimiento pasa a ser construido por medio del lenguaje y, en especial, el lenguaje icónico. La abstracción propia del concepto se sincretiza en el universo mediático y concreto del mundo de la imagen. Las leyes que conforman este lenguaje se hacen imprescindibles a la hora de crear la realidad social y, a su vez, *la realidad, el conocimiento o los hechos son entidades lingüísticas constitutivas de las comunidades que las generan*, según encontramos en Pisticelli (1995, 182).

El lenguaje de la imagen es dinámico, vital y el mejor registro para argumentar la simulación. La nueva cultura es, por tanto, la de la simulación. Necesitamos pasar de nuestros mitos racionales a los mitos artificiales que se crean a partir de los universos virtuales.

Esta ruptura conforma el bastión de enfrentamiento más importante entre las dos culturas que estamos viviendo: la de la palabra (arrastrada desde la imprenta) y la de la imagen (nacida con el transistor y las comunicaciones de masas). Estamos inmersos, por tanto, en una época de cambio cultural que necesita de un lenguaje y una concepción de la comunicación lo suficientemente adecuados como para alcanzar la cima de la nueva cultura: la simulación.

Si nuestra cultura es la del simulacro, se hace evidente que el paradigma desarrollador sean los medios de comunicación. La eficiencia comunicativa pasa, en nuestros días, por un dominio de la imagen más que por un dominio de la razón, característica constitutiva de la era de la imprenta que ha estado presente hasta la implantación del ordenador en todos los hogares mundiales.

Es evidente, por tanto, que la representación icónica del conocimiento, en base a una estructura no-lineal, es sólo posible a través de los medios y, sobre todo, de la red.

La comunicación a través de la red se encuentra dirigida por protocolos. La comunicación se vuelve teatral puesto que tan importante es el mensaje como el modo en el que lo envolvamos. Lo figurativo, por tanto, supera a lo conceptual, aspecto clave en la cultura del libro que estamos dejando atrás.

Esta cultura del simulacro traspasa el hecho comunicativo para volverse factor de construcción social. Las relaciones marcan el estilo social y la libertad de la simulación crea un mundo donde la irrealidad personal se convierte en centro constitutivo. Nadie es lo que parece y, además, nadie tiene la posibilidad de vivir en el desánimo. Todo fundamento no tiene existencia real sino que parte de la simulación, por lo que la alienación no es posible porque nada existe como tal, sino que las bases sociales se determinan en función de las modas predominantes de cada momento. La televisión, por tanto, deja de ser un instrumento de alienación, para convertirse en un centro difusor de las nuevas tendencias que se generan a partir de la red. Nadie tiene la posibilidad de escapar al cambio. Lo constante y duradero, como es la naturaleza, entra en contradicción con la base social. La consecuencia inmediata es que la ciudad -aspecto éste indicado previamente- se convierte en el centro integrador de todos los espacios virtuales que generan el entorno social basado en el simulacro.

La palabra, como aspecto constante, deja de ser sólo palabra, para ser, también, imagen manipulable. La palabra escrita desde un punto de vista audiovisual es algo que sólo se entiende desde la figuración o la simulación, y nunca desde el concepto que implica.

Las imágenes, en definitiva, son para Pisticelli (1995, 250) *un medio de estudio sino la matriz del pensamiento, la acción y la comunicación*.

Esta figuración del conocimiento provoca una hiperfragmentación del concepto social y, en consecuencia, del cultural. El mundo de los híbridos -tan extendido en el mundo de la informática- es la característica cultural más importante. No existen medios de expresión artística que no necesiten de diversos instrumentos tecnológicos, para crear la obra final. Esta obra suele ser, en general, perfecta en su realización pero falta de conceptualización. El sentido final de la misma es superado por la fascinación tecnológica, por lo que nunca es asimilada en toda su extensión. La rapidez de consumo de la misma, provocada por la artificialidad conceptual, se convierte en punto primordial para la sustentación de la neocultura cuyos cimientos no están hechos de "vigas" conceptuales, sino de "alambres" simulados.

Al contemplar el David de Miguel Angel nos damos cuenta que es, en sí mismo, un concepto. Sus formas, su postura reflexiva, es un reflejo del hombre renacentista que hace prevalecer la parte filosófica del ser humano sobre su cualidad de transformación. El arte, en

general, ha intentado plasmar la perdurabilidad de sus obras en el paso del tiempo. La informática ha cambiado este factor ya que lo deseable es el cambio en detrimento de su permanencia en el tiempo. Si Miguel Angel hubiera creado su David en nuestros días, posiblemente lo hubiera dotado de movimiento para que reflejara el constante cambio conceptual que busca el individuo de nuestros días. Además, sería consciente de la fugacidad de su obra ya que cualquiera podría tener la capacidad de transformarla.

El punto de encuentro de las nuevas tendencias no tiene un apartado físico, sino que se encuentra inmerso en el universo figurativo de las grandes redes. El conocimiento y el arte entran en un nexo común de representación icónica, en el que los mundos virtuales representan tanto las grandes bibliotecas como los grandes museos.

Una característica fundamental de la nueva cultura es que no tiene pasado ni presente, es decir, podemos representar continuamente el mismo modelo cultural e interaccionar en un mismo punto sin que, por ello, desarrollemos o avancemos en los conocimientos que podamos adquirir a medida que se produzca el acto interactivo. No podemos, además, interactuar con el pasado, es decir, la interacción es sólo posible con la representación que tengamos en el presente y, jamás, podremos interaccionar con representaciones pasadas a no ser que las devolvamos al presente, si se encuentra almacenada en una base de datos.

Es una cultura donde el espíritu, condición intangible de la cultura, no puede ser almacenada, por lo que lo único importante son los aspectos "reales", es decir, cuantificables, de la propia experiencia cultural.

No obstante, la naturaleza de los fenómenos susceptibles a ser almacenados para, posteriormente ser reproducidos, pueden ser de todo tipo (acústicos, visuales, gestuales, táctiles,...), por lo que deja de ser importante la complejidad del fenómeno.

Estas características permiten la creación de gigantescas bases de datos capaces, incluso, de almacenar culturas completas. Esto hará posible que, a posteriori, se puedan comparar culturas distintas desde todos los puntos de vista, si previamente han sido almacenadas en los discos duros de los ordenadores. La cultura se convierte, por tanto, en una mercancía de datos propensa a ser manipulada.

La cultura deja, en consecuencia, de ser algo espiritual para convertirse en un aspecto real que se tiene y se debe cuantificar.

Si importante es el modo de representar icónicamente el conocimiento y las artes, también es imprescindible el modo de acceder e interaccionar con ellas. Desde la manipulación a través de un *ratón* en una superficie bidimensional, hasta la interacción con gráficos tridimensionales, hay múltiples maneras que la propia tecnología aporta para tratar la imagen y, por extensión, el propio conocimiento.

Hay que tener en cuenta que el lenguaje audiovisual, mediante el cual vamos a adquirir el conocimiento, es único, pero genera distintos dialectos. No es lo mismo el dialecto icónico de la caricatura, el de la pintura al óleo, o el del dibujo animado. Según Román Gubern, el dialecto en lingüística se define por los rasgos léxico-gráficos, semánticos, sintácticos, fonológicos, etc, así como por los usos. Estas dos características son las que diferencian unos dialectos de otros.

También hay que tener en cuenta que la imagen creada por ordenador no es nueva en la cultura occidental. La técnica del mosaico de pixels, que es la técnica de la imagen digital e infográfica, tiene una amplia tradición estética en el arte occidental: mosaicos bizantinos, tapices (cuya técnica consiste en la subdivisión de una superficie en unidades mínimas de color) o la pintura puntillista (basada en la visibilidad de la imagen a través de unidades cromáticas mínimas de color homogéneo), son sólo algunos ejemplos de ello. La existencia de estos antecedentes culturales hace más fácil la creación de conceptos mediante unidades mínimas de información.

Un pixel aislado no es una unidad de significación, sino de información. Es una entidad presemiótica como lo es la línea en la pantalla de un televisor. En todo caso, un grupo orgánico de pixels puede constituir, si tiene el valor semántico adecuado, una unidad de significación.

El pixel define la posición del punto, color, brillo, etc. La imagen infográfica está almacenada en una matriz numérica; por este motivo, algunos llaman, pedantemente, a la imagen infográfica *aritmografía*, que es una imagen imaginaria o virtual que sólo es real cuando es exhibida a través de un video, de una pantalla o mediante impresión, etc.

La cultura que resulta de todo esto está definida, principalmente, por la imagen, la cual parte de dos puntos: el de un autor ausente que ha producido un programa informático y que la máquina representa vicarialmente, y el autor presente que interacciona con la máquina y usa el programa para generar un contenido. A partir de este diálogo, entre las posibilidades finitas del programa creado por la inteligencia ausente y la inteligencia presente, surge el enunciado icónico del conocimiento, que es la imagen en pantalla.

El programa no tiene posibilidades infinitas y, por consiguiente, su capital semiótico está contenido en todas sus virtualidades posibles. Es decir, el programa sólo realiza aquello para lo que está programado. Para disfrutar de la cultura de la información es necesario el uso de la tecnología, paradigma de la nueva sociedad, y, de este modo, abrirse camino en el logro del conocimiento.

Estos interfaces, que nos conducen a través del conocimiento, deben estar dotados de todas las propiedades de la experiencia directa que, para Pisticelli (1995, 24) son: *color, animación, respuesta instantánea, simulación, inteligencia.*

Además, debe asesorar y ayudar al usuario dentro del universo de información contenido en las grandes redes, a la vez que debe simular, lo mejor posible, la experiencia sensorial directa del usuario, a través de un adecuado contexto narrativo. Estas necesidades hacen de la realidad virtual uno de los interfaces más adecuados para navegar por esta nueva cultura que se está creando.

La tecnología de la imagen presupone un entorno virtual del conocimiento en el que, a diferencia del alfabeto que representa el lenguaje fonético sobre un campo visual, la imagen digitalizada representa, de forma animada, los modelos mentales.

Como hemos visto, la cultura occidental siempre se ha caracterizado por la búsqueda de la emulación de la realidad que nos rodea. Esto ha sido así desde el origen de la cultura griega, que con sus canones de belleza, intentaba aproximarse a la realidad del entorno. La realidad virtual se está convirtiendo en la forma más sofisticada de aproximación a la realidad que, creada vía informática, se basa en aquello que nuestros sentidos nos dan como válido, lo cual estará basado en principios del mundo real.

Por tanto, debemos tener en cuenta que los referentes reales que el hombre occidental ha ido buscando a lo largo de su historia, no se perderán en la nueva cultura producto de la introducción de la cibernética en la vida cotidiana. Es más, se tendrán que estudiar con más fuerza esos referentes reales para poder insertarlos en los espacios virtuales de una forma factible.

Para Román Gubern, otra aportación importante de la realidad virtual a la nueva cultura es que se ha producido una especie de milagro o de sinergismo, que combina la imaginación ilimitada del pintor, subjetiva y no sujeta a restricción alguna, con la perfección performativa propia de la máquina. Francisco de Goya pinta "Los Caprichos" y la máquina fotográfica hace calcos del referente que tenía delante del objetivo; pero el fenómeno de poder combinar ambas cosas, nunca se había producido salvo, en una forma mucho más laboriosa, en el campo de los dibujos animados.

En resumen, lo que ha hecho la imagen infográfica es automatizar el imaginario subjetivo del pintor de una forma que jamás había ocurrido antes.

Naturalmente hay que añadir una salvedad. Sólo se puede imaginar una forma o previsualizar un resultado si se conocen las posibilidades del programa, aspecto que también diferencia a la imagen infográfica de la imagen fotoquímica.

Un ejemplo de esta transgresión icónica dentro de la concepción cultural actual, se constata en las consecuencias sociales que producen aplicaciones tecnológicas como los videojuegos. Este aspecto está provocando grandes discusiones y controversias entre pedagogos, psicólogos, sociólogos,...

Uno de los factores más estudiados en este sentido es la distancia existente entre el niño y la pantalla. En el caso de la televisión, la distancia mínima adecuada entre pantalla y observador debe ser tres veces la diagonal del monitor. Sin embargo, la distancia del niño con la pantalla del videojuego es mucho menor, siendo incluso, más cercana que la del usuario informático con su pantalla. Es como si el niño quisiese entrar dentro del espacio icónico o diegético de la pantalla.

Esta obsesión por traspasar la pantalla tiene antecedentes literarios, cinematográficos,..., que han inspirado piezas culturales como, por ejemplo, la película "*La rosa púrpura del Cairo*", en la que hay una vocación de invertir los roles. En esta película de Woody Allen el personaje principal sale del espacio diegético de la pantalla y entra en la diégesis del mundo real. Un paso adelante es lo que el niño intenta hacer con el videojuego, es decir, aspira a introducirse en el País de las Maravillas del mismo modo que hace Alicia.

Pero, ¿para qué?. La respuesta más evidente es la pretensión de una manipulación más eficaz de los iconos; esto no es otra cosa que lo que hemos definido como interacción. El botón ya no es suficiente, lo que realmente se desea es influir directamente en el mundo artificial manipulable a través de estos iconos. ¿Cómo puedo hacerlo? Entrando en la pantalla. A esto se le denomina *pulsión de Alicia*, y se desarrolla en la casa encantada de la realidad virtual.

Esta tecnología, que se convierte en el núcleo de representación cultural, repercute en la teoría estética tradicional, sobre todo, en la teoría de la representación puesto que el concepto de imagen en la cultura occidental ha estado muy asociado al concepto de narratividad.

Las imágenes estáticas servían para contar historias, es decir, en ellas se produce un instante durativo: la imagen está quieta pero está en un flujo, o lo que es igual, el concepto de *imagen o mimesis* de la realidad lleva, en este caso, aparejado el concepto de *diégesis* o narratividad. La conclusión es que la imagen estática tradicional es un instante de una cadena de instantes.

En la realidad virtual nos encontramos con la mimesis pero no con la diegesis, es decir, hay imitación de lo real junto a un alto grado de sensorialidad, pero no hay narratividad. Hay impacto perceptivo pero no hay estructura.

Esta transgresión pone en crisis toda la tradición estética procedente de los griegos. Hasta la aparición de la realidad virtual la imagen mimética era utilizada para narrar. Con la realidad virtual, esta cualidad desaparece para hacernos a nosotros, los espectadores, sujetos participantes e integradores de esta mimesis en la que la imagen pasa de contarnos una historia a hacer de nosotros miembros activos de la misma.

El problema estético es evidente, ya que todos los modelos clásicos vascular.

No es de extrañar, por tanto, que la aparición de la realidad virtual supusiera un alboroto generalizado. Este fenómeno no es el primero que se produce en la historia. El nacimiento del cine y de la fotografía produjeron reacciones sociales similares. Aún se piensa, en algunas civilizaciones, que la muerte no es definitiva porque se puede seguir observando a la persona fallecida en fotografía o, incluso, en movimiento, gracias al cine, por lo que su alma aún está presente.

Los medios de comunicación enfatizan -muchas veces sin saber- las posibilidades de este nuevo medio que es la realidad virtual y, ciertamente, estamos en los inicios de una nueva tecnología que será el futuro de la interactividad pero, aún, incipiente.

No obstante, la realidad virtual es la herramienta que mejor cumple el ciclo de perfeccionamiento de la aspiración del ser humano, para conseguir la *ilusión referencial*.

Existe una historia muy popular en China según la cual un emperador tuvo noticias de que en el confin de su Imperio había un pintor excelente. Le hizo ir a palacio para ver sus cuadros, que eran hiperrealistas y maravillosos, y le obligó a quedarse en su palacio a pintar. Al cabo de los meses el pintor añoraba mucho su país natal y decidió escapar. Para esto, pintó un cuadro de su pueblo natal y se metió dentro del mismo. Así escapó.

Esto es la realidad virtual y ya estaba presente en la cultura china tradicional.

Esta leyenda prueba que el ser humano, desde el comienzo de los tiempos, ha tratado siempre de buscar las respuestas a una eterna discusión: el problema de la mimesis o el problema de la ilusión referencial. La realidad virtual no es más que otro intento de conseguir la solución a tan arcaico planteamiento estético.

Otra leyenda que refleja esta aspiración humana es la que contaban sobre Zeus: "Dicen que los pájaros iban a picotear las uvas pintadas por Zeus, y un día un pintor rival (Caparrasio), el cual tenía celos del realismo al cual llegaba Zeus, dijo:

- "Hoy voy a engañar a Zeus."

Así que pintó una cortina en la pared y llamó a Zeus y le dijo:

- "¡Ven Zeus! Tengo una cosa para ti. Detrás de esta cortina hay un regalo que me gustaría ofrecerte."

Fue Zeus a correr la cortina y al no poder, comprobó que estaba pintada.

Caparrasio había inventado la realidad virtual cinco siglos antes de Cristo porque Zeus engañaba a los pájaros pero, evidentemente, los pájaros son más tontos que el hombre. La cortina creada por Chapearais era tan real que simulaba a esa realidad. Para Zeus, por un momento, la cortina dibujada era la cortina real. La mimesis era tan perfecta que había engañado a un Dios.

La realidad virtual pretende dar solución a esta inquietud, creando mundos reales al

interactuar con ellos. Es la última respuesta que ha dado la tecnología al viejo interrogante, a la vieja aspiración humana de la mimesis, de crear dobles, como si estuviéramos delante del mundo al observarlos; es la famosa ilusión referencial del *hiperrealismo*.

No obstante, el concepto de mimesis está totalmente ligado al de percepción. Cada cultura tiene una conciencia diferente del mundo que le rodea y la percepción gira en torno a este punto de vista. Los esquimales conciben el entorno de distinta forma que lo hacen, por ejemplo, los latinos o los sajones, porque su cultura es distinta a la del resto de los pueblos. El clásico problema de la ilusión referencial no es igual para todos los hombres, aunque un punto común a todas las culturas es el intento de copiar la realidad. Aún así, es en Occidente donde este objetivo se convierte en el fin último en torno al cual gira la vida y el pensamiento filosófico del arte. Desde los griegos, los occidentales hemos intentado encontrar la forma de "encerrar" la realidad en un marco. ¿Se ha conseguido con la realidad virtual? Actualmente, no. La imaginación, impulsada por la publicidad en los medios, nos hace creer que, en poco tiempo, esto será posible gracias a los avances en la tecnología informática.

En la actualidad, libros de ingeniería o artículos sobre realidad virtual abordan temas como la televirtualidad en tiempo real o la teleholografía. El principal problema con el que se encuentran los expertos a la hora de crear máquinas capaces de realizar estas tareas e integrarlas en la cultura social, se centra en la manipulación de la cantidad de información disponible, es decir, la anchura de banda de una emisión teleholográfica es una veintena de veces la anchura de banda de una emisión de TV convencional, debido a la cantidad de información emitida. No obstante, nos encontramos en la era de la compresión digital y, es evidente, que estos problemas de cantidad de información a emitir podrán ser resueltos. Pronto actividades sociales como la televirtualidad en tiempo real y la teleholografía estarán entre nosotros y harán más posible que podamos encerrar la realidad en el marco prefabricado de la pantalla.

Este asunto del hiperrealismo y la copia perfecta nos lleva a un aspecto sumamente interesante y que forma parte del debate social actual: los *clones*. Nuestra sociedad está muy influenciada por la mimesis y, por extensión, por la clonación. La imitación supera a la originalidad en la concepción artística y, en cierto modo, se ha olvidado que el artista crea pero no imita.

El artista actual imita, artificialmente, la realidad para tratar de engañar al espectador y crear en él sensaciones que existen en su entorno.

La realidad virtual es un intento de creación simulada de la realidad. Por ahora, el más perfecto.

El hiperrealismo clónico de los mundos y universos se convertirá en el doble perfecto,

incapaz de desviarse del modelo primigenio. Esto acabará con el problema de la ilusión referencial puesto que el doble y la copia serán idénticos. La ilusión dejará de ser tal, para convertirse en realidad. De todos modos, aparece el problema de la originalidad, es decir, hay que saber diferenciar entre la copia y el modelo para marcar el punto de creación cultural primigenio.

En el momento en que se llegue a esta frontera de los mundos clónicos, a la cual tiende la realidad virtual, habrá que reformular a fondo el concepto occidental de representación, que es la base misma del arte y de la cultura occidental.

La cultura occidental está entrando en crisis. El mundo de la informática y su implantación general han propiciado que la representación de los objetos sea tan universal que hayan desaparecido algunos códigos culturales debido a la implantación de otros totalmente artificiales y que provienen, principalmente, de la informática. La realidad virtual se confirma como la herramienta ideal para este cambio de códigos. Por tanto, debemos pensar en dar un paso adelante en la representación de nuestro mundo para una mejor percepción del mismo. La realidad virtual es un instrumento que nos puede ayudar en el uso de nuevos códigos y nunca se debe considerar como sustituta de la realidad que vivimos.

Existe el riesgo de dar un paso hacia el vacío, es decir, transformar la realidad virtual en una herramienta para fabricar realidades alternativas, separándonos totalmente de los problemas reales del mundo como la droga, que rompe los nexos sociales del individuo por un gozo destructivo de placer.

La cultura occidental, base de los movimientos cibernéticos, no debe olvidar que se basa en la representación icónica, por lo que se inspira en el mundo real. La realidad virtual no puede ser, en ningún caso, sustituto de ningún referente real, ya que la tradición estética, cultural y, por ende, la social puede llegar a derrumbarse por completo y, de este modo, llegar al caos.

13.4. UN NUEVO TIPO DE COMUNICACIÓN EN FEED-BACK ILIMITADA Y TRANSNACIONAL.

La realidad virtual es, principalmente, un interface para interaccionar con los datos contenidos en el ciberespacio virtual que se crea a partir del mundo informático. La realidad virtual aporta al usuario, por tanto, un nuevo forma de comunicar y ser comunicado en el ciberespacio virtual.

El universo informacional creado a partir de redes globalizadoras como Internet, ha demostrado a los teóricos de la comunicación, que es posible un mundo interactivo transnacional donde los participantes del hecho comunicativo tengan absolutamente todas las posibilidades de interaccionar, a pesar de los distintos lenguajes.

Internet ha demostrado que la comunicación visual es más eficiente a la hora de crear la aldea global de Macluhan, que cualquier otro tipo de invasión cultural asentada en las raíces del lenguaje. La realidad virtual supone un paso adelante en la supresión de barreras idiomáticas y un acercamiento mayor a la comunicación interactiva producida a partir de instrumentos tecnológicos.

La televisión se convirtió, a mediados del siglo XX, en el primer instrumento, creado por el hombre, que permitía compartir experiencias a distancia. Hasta entonces, tan sólo el mundo imaginativo de la novela había sido capaz, desde un punto subjetivo, de crear tales experiencias compartidas.

A partir de este instrumento, se han creado diversos medios, culminado en el ordenador, para crear lazos comunicativos entre las diferentes culturas que configuran el planeta. La realidad virtual, que se basa en el medio ordenador, consigue la creación de comunidades virtuales que, como hemos visto en capítulos anteriores, no necesitan de presencia física real de los individuos para asegurarse una interacción dentro de la comunidad. Esta posibilidad abre las puertas a todo tipo de interrelaciones comunicativas puesto que suprime las barreras comunicativas que presupone el lenguaje.

Las necesidades de la sociedad actual, en la que una crisis económica en el sudeste asiático desestabiliza toda la economía mundial, pasa por un modelo comunicativo general en la que la barrera lingüística, principal arma de la autonomía cultural de los diversos países, sea suprimida para dar paso a una comunicación, en feed-back o interactiva, que facilite la globalización.

Los teóricos afirman que estamos inmersos en la sociedad de la información, es decir, el que domina los medios domina el poder. Evidentemente, esta sentencia se traduce en términos económicos, lo que significa que la información es dinero y los medios para difundirla son los que proporcionan el control social. La información, por tanto, se ha convertido en la nueva materia prima para la gestión de la sociedad. Abarca todas las facetas comunicativas que necesita el ser humano para su interrelación social; la información propagandística, la información cultural, la información económica, la información social, la información deportiva, la información intelectual,... El poder, por supuesto, intenta controlarla y usarla en su provecho del modo más productivo.

En Estados Unidos, las industrias de la información participan de más de la mitad del producto interior bruto, habiéndose constituido en el sector que más personas está empleando.

La televisión, otra vez factor clave en la historia comunicativa de finales del siglo XX, fue el primer gran medio de comunicación social utilizado por los distintos gobiernos para crear corrientes de pensamiento dentro de sus respectivas sociedades. Esta utilización del medio televisivo obtuvo un éxito insuperable, hasta el punto de que los políticos basan sus campañas electorales en la televisión, las grandes decisiones políticas se difunden en los noticiarios de máxima audiencia, etc. El medio, por tanto, se convierte en algo esencial para determinar el mejor control social.

La televisión, no obstante, tiene limitaciones subyacentes a su propia tecnología. La interactividad, factor clave de los últimos tiempos, no entra dentro de sus atribuciones, aunque se hayan hecho multitud de intentos para que esto resulte posible.

La informática nació con la pretensión del ser humano para poder interactuar, de un modo más natural, con cualquier tipo de máquinas. La informática se ha desarrollado lo suficiente como para crear lenguajes propios que generan, a su vez, modelos comunicativos propios de la herramienta. Hay que tener en cuenta que la aparición de un nuevo medio en el espacio comunicativo, lo redefine. Para Armand Mattelart y Jean-Marie Piemme en Moragas (1993, 83) *un médium no se incorpora simplemente a los ya existentes, constituye con ellos una nueva configuración cualitativamente distinta de la suma de los efectos de cada uno de los media.*

Es evidente que la informática ha hecho redefinir el concepto tecnológico de la televisión, y ha situado a ésta en otro ámbito comunicativo distinto. La televisión distribuye la información de masas y la informática, gracias a sus redes transnacionales, hace lo mismo con la información particular de grupos particulares con intereses comunes. En ambos casos, la información es utilizada como génesis de conceptos culturales comunes a pueblos con diversidades culturales distintas.

La llamada sociedad de la información parte de un concepto de la economía capitalista de entender la sociedad. El capitalismo necesita expandir, ilimitadamente, sus mercados y, por lo tanto, introducirse en países donde los códigos culturales no tiene ningún punto en común con respecto a los suyos. El capitalismo trata de introducir necesidades de consumo propias de sociedades capitalistas en otro tipo de sociedades que no conocen de esas necesidades. De este modo, se abren nuevas vías de mercado y nuevos consumidores potenciales hacen que se desarrollen mejor las empresas y, por tanto, las sociedades a las que pertenecen las empresas.

El control de la información transnacional permite la creación de este tipo de necesidades básicas propias de sociedades ajenas a estos países de destino. La internacionalización cultural es la responsable fundamental de la pérdida de identidades culturales de los distintos pueblos afectando, incluso, a la relación que el individuo tiene con su Estado, ya que establece nuevas formas de relación basadas en el mercantilismo que, en muchos casos, ni el individuo ni el Estado están preparadas para ello.

En efecto, en Moragas (1993, 104) se plantea que *la comunicación se efectúa actualmente en un único sentido y los países en vías de desarrollo son vistos a través del prisma de los periodistas y los productores de los países en vías de desarrollo.*

El control de los medios determina la fuerza de la actividad cultural dentro de todas las sociedades. Los países con un menor nivel tecnológico están abocados, en nuestros tiempos, a una dependencia cultural de los países con una fuerte infraestructura tecnológica. La fuerte influencia mediática en la propagación cultural crea líneas únicas que invalidan modelos culturales distintos a los establecidos por los controladores de dichos medios. La industria cinematográfica norteamericana es buena prueba de ello, puesto que ha sido capaz de establecer valores éticos y morales únicos en todos los países que se encuentran bajo su influencia económica.

Los medios tecnológicos de telecomunicación se convierten en un arma fundamental de la estrategia militar-económica en la defensa y ataque de unos Estados sobre otros. La reciente guerra propagandística que se ha establecido paralelamente en la guerra de Kosovo, es tan importante como la parte militar y económica de la misma, puesto que como se pone también de manifiesto en Moragas (1993, 107) *la autosuficiencia en fuentes de información es tan importante como la autosuficiencia tecnológica, porque la dependencia en el dominio de la información frena a su vez el desarrollo económico y político.*

Los medios acercan la información a todas las clases sociales clásicas, por lo que el concepto de patrón y obrero -tan bien diferenciado en la economía capitalista clásica- se vuelven a redefinir en esta nueva sociedad interactiva, donde las diferentes clases sociales se unifican en una gran red de información, o en un mundos virtuales creados en los discos duros

de ordenadores.

El soporte para crear comunicación interactiva y transnacional está creado. Sin embargo, el dominio de estas tecnologías entre los países occidentales hace que los países más pobres sólo reciban influencias de esta cultura, siendo su aportación una mínima parte al desarrollo general de la sociedad mundial. La interacción comunicativa, por tanto, no estará totalmente representada en el hecho comunicativo hasta que todos los países tengan las mismas infraestructuras tecnológicas de comunicación. La concentración económica, cada vez más acuciante, hace que esta igualdad en la posesión de soportes comunicativos no sea posible a corto plazo, por lo que una auténtica comunicación en feed-back y transnacional no será posible a corto plazo, lo que provoca que *la comunicación actualmente se efectúe actualmente en un único sentido y los países en vías de desarrollo son vistos a través del prisma de los periodistas y de los productores de los países desarrollados*, en Moragas (1993, 104).

Las gran red Internet está creada en Estados Unidos, el gran país creador de productos comunicativos, y no tiene en cuenta las necesidades educativas y las distintas identidades culturales de los diferentes países. Internet está basada en el inglés como lengua universal y los distintos avances tecnológicos están en función de las necesidades que los propios americanos tienen frente a las nuevas necesidades que van surgiendo en la red debido, principalmente, a su implantación en todo el mundo.

De todo esto se deduce que la comunicación transnacional, como medio cultural, es algo que no se produce a todos los niveles, ya que la comunicación no tiene una doble dirección en la misma intensidad, debido al poder que ejercen las grandes industrias comunicativas en esta relación entre países pobres y ricos.

A pesar de todo, Internet proporciona una gran posibilidad de acercamiento cultural, en un mismo nivel, entre diferentes países y entre todas las capas sociales. La posibilidad de mundos virtuales basadas en imágenes amplía la capacidad de crear comunidades de individuos que rompen cualquier tipo de barrera geográfica.

Desde sus orígenes, las tecnologías de lo virtual, propiciadas por los instrumentos tecnológicos, mediaron entre los lugares físicos y las realidades inverosímiles que se construían en la mente de los usuarios. A través de la radio escuchábamos como nos describían un determinado paisaje, pero era nuestra imaginación la que lo hacía real, aún sin tener nada que ver con el referente descrito.

Estos mismos medios tecnológicos crean a diario mundos de pertenencia a distancia, en los que nosotros actuamos a través de nuestra mirada lejana mediadas por las ondas.

Las realidades físicas son transmitidas por las ondas a todo el mundo y, de este modo, todas las comunidades sociales del planeta pueden entrar en contacto.

La realidad conceptual es más difícil de transmitirla a través de los mensajes en los medios. Los conceptos son algo etéreo, propio de experiencias compartidas en un mismo entorno, que la tecnología informática ha permitido divulgar. Las personas pueden interrelacionarse virtualmente en mundos paralelos para compartir y experimentar conceptos. La comunicación se hace extensible a su completa definición, de tal modo que cualquier persona en cualquier punto del espacio puede entablar relaciones culturales y conceptuales dentro de los mundos virtuales. La comunicación en este medio, que necesita de la interrelación y que el propio soporte se la proporciona, rompe la barrera del espacio para entrar en una nueva dimensión donde cualquier concepto, cualquier significante o cualquier significado, se convierte en un símbolo con el que relacionarse. Las fronteras no existen en los mundos virtuales y los impedimentos lingüísticos se convierten en mera aceptación de códigos creados en cada comunidad que, en muchos casos, pueden ser exclusivos de cada comunidad virtual.

No obstante, para llegar a alcanzar este punto, tanto los emisores como los receptores se convierten en símbolos que son propensos a ser parte de la interrelación dentro de ese universo de total interactividad. Para ello, y como se cita en Pisticelli (1995, 215) *los espacios sociales empezaron a ser definitivamente naturales, artificiales e inscripcionales. La interpretación de la biología y de la tecnología quedó claramente manifiesta*. La creación de estos mundos engloba todas las ciencias que estudian la realidad natural, puesto que lo que se pretende es la creación de nuevos mundos alternativos pero hechos a semejanza del entorno en el que el ser humano real experimenta sus sensaciones cotidianas. Los creadores de estos mundos parten de principios naturales y de realidades sociales ya existentes y, a partir de este punto, inician su carrera hacia la fabricación de experiencias totalmente disgregadoras de la realidad. No obstante, uno de los primeros mensajes que circularon por la red y que se recoge en Pisticelli (1995, 215) fue *somos como dioses; mejor que lo hagamos bien*. La total libertad de creación en los entornos virtuales hace que las limitaciones dejen de existir, para favorecer la imaginación de una creación totalmente libre de barreras tanto físicas como biológicas, inherentes al ser humano.

Podemos viajar a la luna con tan sólo extender un dedo, o descubrir la sensación que se produce al mirar el universo a través del ojo de un niño, o convertimos en flores que quieren abrirse paso en el espacio. Todo es posible. No hay limitaciones. La comunicación llega a establecerse desde cualquier punto de vista traspasando, incluso, las barreras de nuestro propio cuerpo.

El concepto es la máxima expresión de la vida, en este universo metafórico de conceptos reales en espacios artificiales. La relación de nuestro cuerpo con la máquina busca

recrear nuevas relaciones con el mundo físico. El cuerpo se representa y se codifican las expectativas culturales, dando paso a una ilimitada gama de interrelaciones que son inviables en el mundo real debido a todas las barreras que éste lleva circunscrito.

La máquina se convierte, por tanto, en un instrumento necesario y fundamental para el hombre en su relación con el entorno. La representación pasa a ser el eje central de la relación con la máquina y, a su vez, con el entorno tanto real como ficticio.

Si queremos dar a la máquina los aspectos que constituyen nuestro entorno natural, tenemos que hacerlo a través de la representación icónica. El gran avance con respecto al bisonte de la caverna, es que la representación en el ordenador debe proporcionar al usuario la facultad de interaccionar en ese mundo artificial.

No hay que olvidar que para representar un objeto hay que sustituirlo por otro que contenga equivalencias suficientes para que las relaciones con el sustituto sean las mismas que con el sustituido o que, al menos, no sustituya las condiciones mentales que teníamos del objeto primario.

La identidad entre un objeto y su representación no tiene porque ser igual, es decir, sólo necesitamos que la representación de un objeto nos recuerde en todos sus aspectos al primigenio. No obstante, la máquina nos proporciona la facultad de interaccionar con la representación, lo que nos proporciona una mayor capacidad de experimentación y conocimiento de ese objeto para, posteriormente, extender las características de relación con el objeto real. La máquina abre, por tanto, nuevas vías de conocimiento de nuestro entorno.

La interacción no se reduce a la relación con el objeto, sino que podemos entablarla a partir de los fenómenos que se producen entre el objeto y nuestro campo sensible. El tiempo es un factor importante en la interacción con determinados objetos, ya que existen algunas de ellas que resultan imposibles sin la dimensión temporal. Cuando emitimos sonidos las ondas viajan en una escala espacio-temporal, o cuando escribimos las palabras surgen tanto en el espacio como en el tiempo. La interacción con una estatua no resulta del todo factible debido, en gran medida, a que existe un inmovilismo total del espacio y el tiempo en cuenta a la relación con el usuario. El ordenador domina a la perfección estos dos conceptos claves, por lo que una estatua virtual proporciona al usuario la capacidad de ser modificada en estas dos dimensiones.

La realidad virtual amplía, por tanto, los aspectos necesarios para interacción con los objetos que rodean nuestro entorno virtual. De este punto surge las necesidades de ampliar el conocimiento sobre todas aquellas experiencias que se producen en nuestra relación con el mundo real. La máquina, por tanto, supedita la necesidad de conocer a la necesidad de contemplación que, hasta nuestros días, había sido la gran cualidad en el disfrute del arte.

Además, la máquina es capaz de hacer posible experiencias que en su propio origen no lo sean. La propia cualidad de una estatua, remitiéndonos al ejemplo anterior, es su inmovilidad. La máquina ha hecho ver al artista que esta no debe ser una cualidad cerrada, sino que se puede producir interacción con la misma a través del uso de materiales diferentes a los clásicos. La máquina interfiere en la capacidad creativa del artista y lo hace avanzar en su forma de concebir el mundo.

No obstante, según Cadoz (1995, 79) *para establecer una verdadera interacción hay que actuar directamente sobre el objeto real (se puede modificar directamente la sombra de un objeto transformando el objeto, pero es imposible actuar sobre la sombra para modificar el objeto), o disponer de un medio de transformación simétrico a los precedentes que permita, manteniendo la relación con la representación, actuar realmente sobre el objeto.*

La representación no goza de todas las cualidades posibles de su referente real, por lo que la interacción total siempre se produce en los objetos y no en sus modelos. La realidad virtual, como medio para interactuar con modelizaciones de los referentes, no sustituye, en ningún caso, la interacción con nuestro entorno y nunca se podrá convertir en un medio sustitutivo de nuestra realidad.

Estos medios de representación de la realidad no son nuevos. Galileo pudo representar el universo gracias a su telescopio y gracias al microscopio se ha podido observar como es el mundo que nuestro ojo no es capaz de ver. La escultura, pintura y fotografía han representado escenas y las han hecho perdurar en el tiempo, mientras que el cine y el ordenador han conquistado la representación del movimiento. El hombre siempre ha buscado instrumentos que fueran capaces de extender su universo real y la capacidad de interaccionar con ellos para que esta búsqueda fuera lo más fácil posible, mediante una observación directa de aquello que desconoce.

Si nos centramos en la aportación del ordenador, hemos de decir que su mejor característica es la de descomponer las señales -incluso, la del tiempo- en número elevadísimo de partes para su posterior tratamiento. De este modo, cualquier componente de nuestro entorno que esté compuesto por señales - la luz, por ejemplo- es susceptible de ser manipulado en el ordenador.

Sin embargo, el ordenador necesita de un alfabeto lo más escueto posible para poder calcular con rapidez. Con este fin, reduce su vocabulario a "0" y "1", por lo que la señal lumínica, por ejemplo, es tratada en el ordenador como una serie ilimitada de "0" y "1". La naturaleza constitutiva de la luz se pierde al encerrarla en esos dos dígitos, puesto que las características no constantes son eliminadas en la capacidad discreta del ordenador.

La representación no es, por tanto, completa, por lo que debe ser nombrada como

modelización y su éxito radica en la aceptación, por parte de nuestros sentidos, de los objetos observados en la pantalla del ordenador o en las gafas de un entorno virtual. La experiencia sensible es el único parámetro que lo determina, siendo el mejor valuarte para la ampliación de nuestro conocimiento. Un niño renacentista necesitaba ver un pájaro real para saber lo que designaba esta palabra, mientras que un niño actual puede saberlo sin necesidad de ver este referente real, puesto que este animal puede ser modelizado en un entorno virtual creado en ordenador. Además, el niño actual podría tener la sensación de que está agarrando a un pájaro sin necesidad de levantarse del sillón.

La representación de cualquier concepto y estructura se puede realizar en un ordenador, gracias a que la matemática es capaz de reducir todo elemento a un sistema binario simple. Esta unificación de las técnicas de representación en un sistema binario cambia, radicalmente, el modelo mental de representación. De hecho, según Melling (1991, 231) *de haber vivido Platón en nuestros días, habría encontrado en el ordenador un sugestivo ejemplo de cómo pueden representarse las cosas mediante un lenguaje puramente matemático basado en el nivel más restringido de valores fundamentales.*

El ordenador, por tanto, es capaz de crear modelos de un objeto y, al mismo tiempo, interaccionar con el objeto real. Esta característica le hace constituirse en la mejor herramienta para crear realidades artificiales con las que poder interaccionar en un camino de ida y vuelta completo.

El ordenador se hace imprescindible en este nuevo tipo de comunicación, que necesita de la interacción entre hombre y máquina, para satisfacer las necesidades de una aldea global que engloba a toda la humanidad. La máquina se transforma en medio unificador que rompe la barrera del lenguaje para la adquisición del conocimiento.

El universo ficticio de la realidad virtual crea objetos de los que se puede llegar a conocer todas sus propiedades antes de su existencia real. En este caso se trastoca el concepto de representación, es decir, para Cadoz (1995, 96) *es la realidad la que representa lo ficticio.*

Además, al igual que la escritura con su sistema cerrado de letras, el ordenador se ha constituido en el instrumento capaz de reducir el universo a un sistema matemático binario.

La comunicación basada en estos supuestos no necesita del conocimiento de lenguajes cerrados sino de códigos visuales que, tras la experiencia del cine y la televisión, todo el mundo conoce. El ordenador rompe, a partir de este instante, cualquier barrera idiomática y aporta la retroalimentación como factor principal en el hecho comunicativo.

La realidad virtual se configura como el principal espacio participativo de comunicación donde cualquier individuo puede interaccionar con otro, cumpliendo todos los requisitos que se necesitan para que se produzca un hecho comunicativo. Este nuevo mundo

artificial es el producto de la sociedad global en la que estamos inmersos gracias al gran desarrollo que han sufrido las tecnologías de la comunicación. La nueva sociedad global inicia sus pasos apoyada por un sistema económico que necesita la ruptura de cualquier frontera para evitar su estancamiento, y que ha buscado en la tecnología su principal arma de expansión por todo el mundo, tanto real como virtual.

El futuro, por tanto, es una integración de todas las culturas en una única red. La diversidad cultural se convierte, de este modo, en el principal punto de conflicto para los grandes países capitalistas.

Capítulo 14.

CONCLUSIONES

De esta tesis podemos concluir los siguientes puntos que, posteriormente, serán desarrollados.

a) La realidad virtual es una realidad aparente; el hombre siempre ha buscado interaccionar con todo aquello que no puede dominar y lo ha encerrado, para ello, mediante representaciones dentro de un marco. La realidad virtual es un paso más en esta búsqueda, en el que se crea un entorno envolvente -iconosfera-, donde el fin último es un no retorno a lo real.

b) La realidad virtual se acerca, cada vez más, a la ilusión referencial de la imitación. El debate sociológico actual se sitúa entre aquellos partidarios de la clonación o imitación, frente a la originalidad.

c) En la realidad virtual hay mimesis (imitación de lo real), pero no diégesis (narratividad).

d) La realidad virtual no será nunca una copia perfecta de la realidad, debido a las incompatibilidades entre tecnología y leyes perceptivas. No obstante, tiene la propiedad de proponer nuevas experiencias estimulando, directamente, partes del cerebro de un modo artificial y dirigido.

e) La revolución comunicacional de la realidad virtual es la supresión de códigos lingüísticos en favor de los códigos icónicos. El hipertexto -que trata el texto como si fueran imágenes interactivas- es el antecedente más claro. La imagen se convierte, por tanto, en el modo de expresión de ideas, conceptos y espacio en el que se desarrolla el hecho comunicativo.

f) Los espacios virtuales nos liberan del cuerpo físico, desnaturalizándolo en favor de los cuerpos virtuales representados. La aleatoriedad del discurso narrativo, propio

de la conexión nodal entre redes, nos conduce a la globalización y, por otro lado, a la falta de arraigo, necesario en cualquier comunidad para establecer vínculos que los diferencien de los otros. De esta característica surgen las comunidades virtuales como nueva forma de entender el hecho social.

g) El arte virtual supera a las demás artes al usurpar al objeto en términos espaciales e interaccionar con el mismo espacio, así como, con el objeto. El ordenador pasa a convertirse en la herramienta integradora de todas las artes.

h) La base de toda esta cultura de simulación es el número. El lenguaje y la imagen -que es usada como herramienta lingüística en los mundos virtuales- se construyen gracias al número, que es el material constructor del lenguaje binario por el que operan los ordenadores.

i) Las representaciones analógicas tradicionales eran unidades cerradas y terminadas, mientras que la representación digital es, esencialmente, dinámica. Esto implica una falta de constantes, puesto que el punto de vista deja de ser estable, así como, la relación entre obra y público. El espectador interacciona y modifica la obra, al igual que la obra ve, oye y siente al público reaccionando ante su llegada.

j) La sociedad actual es la sociedad de la interacción. Esta comunicación interactiva -que pasa por global- hace de nuestra sociedad una de las de menor movilidad de la historia. La tecnología nos acomoda en nuestro entorno, perdiendo atracción del hombre por el hombre, en favor de la máquina.

k) Los mundos virtuales permiten expresar todo tipo de ideas abstractas, al ofrecer la posibilidad de generar nuevos puntos de vista simbólicos. La realidad virtual permite integrar estos simbolismos con referencias reales, creando nuevas visiones de lo real en las que lo concreto y lo abstracto se unen en una interacción.

l) Se hace necesario promulgar una ética y una moral dentro de las comunidades virtuales. Estas leyes irían en detrimento, precisamente, de todos aquellos poderosos que pueden llegar a usar la red en su único beneficio.

m) La realidad virtual , según Negroponte, hará desaparecer los medios de

comunicación de masas, puesto que el receptor volverá a adquirir el control de la situación conversacional.

n) Las telecomunicaciones, unidas a la información, hacen desaparecer las ideologías. Esta simbiosis es capaz de transformar las estructuras sociales y económicas al margen de cualquier voluntad política. Lo único real que nos queda, al margen de las tecnologías, es lo rural y las idiosincrasias locales.

ñ) La tecnología global no crea certeza, sino opinión, ya que la información pasa a ser el baluarte tecnológico en detrimento de la razón. Los modelos culturales, por tanto, no evolucionan, sino que la no-linealidad – en oposición a la linealidad de la escritura – facilita la interacción superficial, y no la comprensión profunda. Este nuevo universo figurativo – propio del teatro – reprime lo conceptual, ya que se basa en la fragmentación del discurso.

o) La tecnología, por tanto, influye directamente en el pensamiento, transformándolo continuamente. La cultura occidental entra en crisis, al faltarle la seguridad de sus principios.

p) La comunicación postsimbólica de Jaron Lanier, es decir, la comunicación global a través de símbolos, transforma, por tanto, el modo de entender la relación entre seres humanos.

q) La realidad virtual transformará las relaciones humanas, hasta el punto de convertirlas en una serie de metáforas. Platón afirmaba que la verdad es una búsqueda, una realidad en potencia. Por otra parte, Nietzsche creía que la verdad no es más que una multitud cambiante de metáforas. La realidad virtual, tal como la entendemos en esta tesis, está más cerca de la verdad de Nietzsche que de la de Platón.

Analicemos en profundidad estos puntos.

El hombre ha creado, desde sus orígenes, instrumentos capaces de extender su universo real mediante la interacción, a través de una observación directa de aquello que desconoce. Partiendo de este principio ha desarrollado técnicas de representación para simbolizar todos esos universos y, de este modo, dominarlos. La principal razón es que lo real es indomable por el ser humano, y tener bajo control de los sentidos aquello que puede representar un todo, es algo que al hombre le atrae. La cultura del hombre se ha basado en una

interacción continua con su propia imaginación. Es fácil interaccionar con algo que está encerrado en un marco y que recrea universos. Román Gubern afirma que el adjetivo virtual tiene una significación muy específica, física, concretamente hipnótica. Para este autor, imagen virtual es una imagen aparente. Virtual es sinónimo de aparente. Por consiguiente la realidad virtual es una realidad aparente. Los videojuegos son una buena prueba de ello. La iconolatría, tal como se pone de manifiesto en Cadoz (1995, 106) es *la pérdida de conciencia de que las imágenes, aun siendo aquello por lo cual accedemos a la realidad, no son la realidad*.

La realidad virtual se presenta como una inmersión en una nueva realidad icónica, donde el fin último es un no retorno a lo real. Es interesante comprobar que el primer medio que crea en un laboratorio lo que llamamos una iconosfera, es la realidad virtual. En los mundos virtuales se crea un entorno envolvente, cosa que ningún medio -ni la fotografía, ni el cine, ni la televisión- había hecho. Por tanto, lo propio de la realidad virtual es ser una iconosfera y actuar como tal en todo sujeto.

Los medios icónicos han seguido una tradición hiperrealista -antes que la realidad virtual se inventó el holograma- y con esto se intentaba incrementar cada vez más lo que se llama en semiótica la ilusión referencial, es decir, la ilusión de que estamos ante el propio objeto. Un ejemplo de esto es la famosa leyenda de que los pájaros iban a picotear las uvas que Zeus pintaba. Esta ilusión referencial hace de la imagen el "como si"; es decir, la imagen está basada en la ilusión referencial que nos sitúa ante una representación, que nos hace creer que estamos ante el propio objeto. La fotografía y el cine necesitan de referentes reales para crear imagen, mientras que en la realidad virtual no son necesarios. En ambos casos, no obstante, se crea la ilusión referencial debido a que en nuestro cerebro ya existe previamente el dato y concepto de la imagen representada.

El hiperrealismo y la copia perfecta nos lleva a un aspecto sumamente interesante y que forma parte del debate social actual: los *clones*. Nuestra sociedad está muy influenciada por la mimésis y, por extensión, por la clonación. La imitación supera a la originalidad en la concepción artística y, en cierto modo, se ha olvidado que el artista crea pero no imita.

Esta tecnología, que se convierte en el núcleo de representación cultural, repercute en la teoría estética tradicional, sobre todo, en la teoría de la representación puesto que el concepto de imagen en la cultura occidental ha estado muy asociado al concepto de narratividad.

Las imágenes estáticas servían para contar historias, es decir, en ellas se produce un instante durativo: la imagen está quieta pero está en un flujo, o lo que es igual, el concepto de *imagen o mimesis* de la realidad lleva, en este caso, aparejado el concepto de *diégesis* o narratividad. La conclusión es que la imagen estática tradicional es un instante de una cadena

de instantes.

En la realidad virtual nos encontramos con la mimesis pero no con la diegesis, es decir, hay imitación de lo real junto a un alto grado de sensorialidad, pero no hay narratividad. Hay impacto perceptivo pero no hay estructura.

Esta transgresión pone en crisis toda la tradición estética procedente de los griegos.

Las imágenes virtuales, por tanto, son los nuevos laberintos en los que nos enfrentamos a nuevas experiencias del espacio y del cuerpo, en el que debemos replantearnos las conexiones entre realidades e ilusiones, imágenes y sus modelos. En la literatura, no obstante, han existido autores, como Borges, que, en sus narraciones, han tratado de imitar el laberinto como forma de contar. De este modo, dirigen al lector de unos textos a otros que, en principio, no tienen ningún tipo de correlación entre ellos. Cada cuento de Borges es una obra en sí misma y, a la vez, cada una de ellas por separado no se entiende sin todas las demás. Esto nos lleva a un mundo secuencial donde todas las obras parecen transcurrir en el mismo espacio y en el mismo tiempo. Y todo ello, dentro de la estructura lineal que supone la escritura narrativa dentro de un libro. La realidad virtual domina este método narrativo, gracias a la no-linealidad de las imágenes (aspecto éste, que trataremos más adelante) y crea formas distintas de concebir y percibir.

No es casualidad que se haya comparado al ordenador con el cerebro, ya que ambos reciben estímulos del exterior, almacenan la información y ofrecen respuestas lo más adecuadas posibles a tales estimulaciones. Se han llegado a crear corrientes de opinión, tanto culturales como científicas, que tienden a interpretar el ser humano como un sistema de procesamiento de información. El conocimiento de los centros de estimulación cerebral ha derivado en que se pueda intentar crear imágenes que afecten a dichos puntos, para crear sensaciones concretas. En este sentido, se está investigando la posibilidad de crear formas virtuales que estimulen aquellos nervios que no usamos normalmente para, de este modo, crear nuevas sensaciones. Estos estudios se basan en el dogma, no contrastado, de que el pensamiento humano opera a partir de modelos formales y, de este modo, se pueden llegar a programar ordenadores que repliquen estos modelos. Así, el uso del ordenador como creador de imágenes es la mejor herramienta para crear realidades alternativas a la del exterior de nuestro cuerpo. Pero estas realidades alternativas deben estimular los sistemas cerebrales ya que, al igual que en el mundo real, el cerebro es el encargado de crear la realidad perceptiva del mundo virtual. La realidad virtual no es el ejemplo de perfección en cuanto a tratar de engañar a los sentidos perceptivos. La realidad virtual se produce con un casco que lleva dos monitores de televisión, los cuales proporcionan visión binocular debido a la disparidad retiniana (que es fundamental para la visión binocular o estereoscópica). Esta característica nos proporciona

visión binocular gracias a la disparidad retiniana pero, en cambio, la acomodación al cristalino es a algo que está pegado al ojo y no a la profundidad que sería la propia del mundo real, si estuviéramos en ese mundo real. Por consiguiente, existe una contradicción o perversión de las leyes perceptivas, puesto que estamos viendo un espacio profundo con una acomodación del cristalino a una pantalla que está a unos 5 ó 6 cm. del ojo, por lo que se genera una extrañeza, algo totalmente artificial. La realidad virtual no es nunca una copia perfecta de la realidad pero tiene la propiedad de proponer nuevas experiencias. Por ejemplo, se puede imitar la capacidad del piano en crear nuevas armonías que van más allá del razonamiento y pensamiento cerebral.

Las imágenes, no obstante, siempre han estado separadas de lo real y viceversa. Pero, una vez dentro de los mundos virtuales nos es difícil escapar a la sensación de realidad que nos provocan, ya que las imágenes virtuales atrapan nuestros sentidos y atención. Por este motivo, los mundos virtuales se nos hacen mundos acabados con un elevado grado de complejidad que, una vez traspasados, nos llegan a parecer reales. Su esencia lógica es otro fundamento relevante a la hora de entenderlos como reales, debido a la racionalidad que impone el número que es, al fin y al cabo, su material constructor.

El laberinto es la mejor metáfora para comprender lo que significan los mundos virtuales. De hecho, los primeros mundos virtuales eran laberintos en los que los usuarios navegaban. Los laberintos no son más que modos de desplazamiento.

Los primeros laberintos eran construcciones en los que se experimentaba el espacio mediante la desorientación. La arquitectura convencional era lo contrario, es decir, simboliza una visión racional del mundo. Los laberintos de lo virtual constituyen un lugar irracional lleno de vértigos y complejidades, donde lo real y virtual se entrecruza para crear nuevas sensaciones. Los espacios virtuales no tienen porqué obedecer a las leyes normales del espacio. Nuestros sentidos experimentan, por tanto, nuevas concepciones espaciales.

Desde este punto de vista perceptual, la realidad virtual pasa a ser argumento de todas aquellas teorías sociales que dictaminan que estamos ante un cambio social muy importante. La nueva era, sustentada en el dominio de la información, es la de la representación del mundo físico y del mundo mental. Todos estos nuevos modos de tratar la comunicación afectan, según Moragas (1993, 93) *a toda la organización social y ésta debe ser aprehendida en términos de relaciones de fuerza y no de comunicabilidad o de incomunicabilidad*. La tecnología pone en manos de las personas nuevas herramientas que modifican los actos comunicativos hacia nuevas fronteras y conquistas representativas. Las herramientas que han posibilitado un mayor dominio de la información, gracias a su incalculable poder de representación, han sido los ordenadores. La realidad virtual, cuando se constituya como el interfaz de comunicación con el ordenador más relevante, pasará a ser imprescindible para entablar cualquier hecho

comunicativo.

La verdadera revolución de la realidad virtual en los actos comunicativos ha sido la supresión de códigos lingüísticos, en favor de códigos icónicos. La propia rigidez de la palabra ha muerto ya que con el hipertexto, o tratamiento de las palabras como si fueran imágenes, se liberaliza a la palabra de su significado para convertirla en idea. Los cibernautas o actores artificiales no tienen la necesidad de conocer un código lingüístico que imposibilitaría la acción de un actor que desconociera el mismo, sino que al situar la interacción en un universo visual podemos utilizar códigos icónicos cuyo conocimiento es bastante más conocido, gracias a la implantación universal del mismo por los medios de comunicación de masas. La imagen se convierte, por tanto, en modo de expresión de ideas, conceptos, y del espacio en el que se desarrollan la acción comunicativa. En el hipertexto, la idea es algo que tiene que ser reconstruida o destruida a medida que avanzamos en el espacio virtual en el que nos movemos. Cada usuario se convierte en autor de su propio relato a partir, eso sí, de una idea predeterminada que imponen los que construyen el espacio primigenio de la virtualidad textual.

El cambio en la producción y las relaciones sociales a raíz de un nuevo instrumento de comunicación, no es nuevo. La escritura, que reafirmó la cultura tribal al pasar de la cultura oral a la literaria, o la imprenta, que reafirmó a la literatura como mejor modo de expansión del conocimiento, revolucionaron, en su día, la sociedad en la que nacieron, cambiando las estructuras jerárquicas, producto de un mayor acercamiento de la cultura al pueblo. La sociedad de la actualidad, principalmente la occidental, ha introducido la tecnología como factor clave de comunicación. El dominio de la información es, por tanto, el control del poder y las grandes multinacionales buscan, cada vez más, ese control. La proliferación de máquinas irrumpe en la sociedad como un aspecto crucial de distorsión, lo que favorece, sin duda, la falta de conexión entre seres humanos y el crecimiento de un mayor individualismo.

La creación de espacios virtuales de comunicación nos lleva a replantearnos la idea de cuerpo. La electrónica ha conseguido la facultad de representar cuerpos y voces humanas para llevárselos a cualquier miembro de la comunidad. Los cuerpos virtuales tienen su principal factor constitutivo en la desnaturalización. El cuerpo que interacciona en los espacios virtuales deja de tener impedimentos físicos que lo integren en lo natural. El ciberespacio libera de la prisión del cuerpo - tal y como deseaba Platón - y nos hace emerger en un mundo de sensaciones digitales. No obstante, en vez de entrar en un mundo de conceptos puros platonianos, el cibernauta se mueve entre entidades formadas y creadas. La aleatoriedad pasa a ser el eje central del discurso narrativo, lo que conlleva una falta de arraigo, necesario en cualquier comunidad, para establecer vínculos que los diferencien de los otros. Las comunidades virtuales son algo infinito en el sentido de que no tienen principio ni fin, es decir,

el punto de inicio no es uno sino varios y, debido a su crecimiento radial, no tiene un punto final. La comunidad virtual podría ser, en un futuro, toda la masa de población humana. Las redes telefónicas se constituyen en el nexo de unión entre las diferentes comunidades, tal como está ocurriendo, hoy en día, con el correo electrónico. En las comunidades virtuales es fácil introducirse como elemento distorsionador y las grandes compañías, que necesitan de todo tipo de información, buscan introducirse en ellas para terminar por controlarlas. Los líderes de las comunidades virtuales son aquellos que cuentan con una mayor infraestructura tecnológica, con las que desarrollar mejores formas de interacción en dichas comunidades y, de este modo, terminar por hacer dependientes, en beneficio propio, a los demás miembros.

El ser humano ha buscado siempre lo impredecible y la tentación de penetrar en el ciberespacio, espacio nuevo y aleatorio, es de los mayores imprevistos. No hay que olvidar que lo único que no cambia en los mundos virtuales es el paradigma o herramienta, gracias a las cuales podemos acceder a ellos.

Este deseo de buscar la libertad ha movido al hombre desde el principio de los tiempos. No obstante, tal y como está ocurriendo en estos momentos, siempre se han planteado discusiones acerca de las ventajas e inconvenientes que reporta el uso de la tecnología a la sociedad. Cuenta una vieja leyenda china que un joven observaba como un hombre sacaba agua de un pozo con sus manos, aún teniendo la posibilidad de hacerlo mediante una polea y un cubo. El joven se acercó al viejo y le recriminó este modo de sacar agua, puesto que con el cubo sacaría una mayor cantidad de agua para beber, además de que no tendría que hacer tanto esfuerzo. El viejo, entonces, respondió: "Si usara un dispositivo como éste, mi mente se volvería más inteligente. Con una mente clara, no pondría mi corazón en aquello que estoy haciendo. Pronto mi trabajo se volvería mecánico. Si mi corazón y mi cuerpo no están en mi trabajo, éste dejaría de ser placentero. Cuando mi trabajo deje de ser placentero, ¿cómo crees que me sabrá el agua?". Estos dos planteamientos han estado, por tanto, siempre presentes en el pensamiento humano. A pesar de todo, la humanidad siempre ha optado por integrar las mejoras tecnológicas en la rutina diaria.

La libertad de navegar por la información situada en las redes se ha convertido en la última tecnológica, que el hombre ha integrado en su rutina diaria. Este nuevo de tratar con la información ha liberado al hombre de barreras estructurales dependientes de la gestión de la información, dándole nuevas alas de libertad puesto que posibilita controlar todo el conocimiento humano. Lo cierto es que la red está cada vez más controlada por los gobiernos, y ese deseo de libertad se encuentra más cercenado. El arte, en y a partir de la red, pasa por ser la única vía de expresión donde los sueños humanos no terminan por tener fronteras. El arte virtual se convierte, de nuevo, en el fin último de la libertad humana.

El arte supera, casi siempre, la forma de percibir que tiene el conjunto de la sociedad. Los cambios perceptivos varían a medida que el arte evoluciona en sus técnicas representativas. La tecnología somete al arte a una constante búsqueda del perfeccionamiento. En nuestro tiempo, tres hechos han conformado la nueva visión del mundo: la perspectiva, que introdujo la profundidad como nuevo punto de vista del mundo; la fotografía, que propuso la mimesis como búsqueda de la realidad; el cine, que dotó de movimiento y, por tanto, de libertad al arte encorsetado en el estatismo de un encuadre. Lo que ocurre en la realidad virtual es que no es solamente icónica y no es solamente óptica sino que, además, se usurpa al objeto en términos espaciales. Es decir, yo me muevo en el ciberespacio de la realidad virtual y el objeto/mundo va cambiando desde mi punto de vista. Esto es algo que nunca había ocurrido: la usurpación no sólo de la apariencia, sino también del espacio que ocupa el objeto o referente. El pintor o el fotógrafo eran capaces de reproducir fielmente un objeto pero no trasladar, a su cuadro, el espacio en el que se circunscribía dicho objeto. Con la realidad virtual hemos creado la posibilidad de trasladar al cuadro tanto el objeto como el espacio y, además, interaccionar con ambos.

Henry Matisse afirmaba, según se recoge en Pisticelli (1995, 125), que *nuestros sentidos tienen una edad de desarrollo que no es la del entorno inmediato, sino la del período en el que nacimos. Nacemos con la sensibilidad de esa época: la fase civilizatoria cuenta más de lo que cualquier aprendizaje puede brindarnos.*

Nuestra sociedad es la de la computadora, donde la gente ha crecido viendo películas y televisión, es decir, un mundo icónico. En este mundo, el ordenador se ha conformado como la única herramienta capaz de integrar y fusionar todas las formas artísticas: música, teatro, danza, cine, vídeo, pintura, escultura, literatura, poesía. La tecnología, aspecto integral de la comunidad científica, es la que ha revolucionado, en nuestros días, los lenguajes de expresión y los soportes comunicativos. La informática y la imagen digitalizada han sido el revulsivo que necesitaba la comunidad artística para desarrollar nuevos cánones estéticos. Paul Brown, artista y educador, afirma que *el historiador de arte del futuro, al analizar este fin y comienzo de milenio, verá que los principales impulsos estéticos han provenido de la ciencia y no del arte... Quizá la ciencia esté evolucionando hacia una nueva ciencia llamada arte, quizá el propio arte, al menos el arte que hemos conocido en este último cuarto de siglo, ha dejado de tener ninguna utilidad social, en* Berenguer (WWW.IUA.UPF.ES/BERENGUER/ARTICLES/VARIS/FRONTER.HTM). Los mundos virtuales nos proponen cuidar de la obra adentrándonos en su seno. Los espacios virtuales se erigen en el espacio de unión de todas estas artes y, por extensión, de la cultura social. La realidad virtual usa el ciberespacio para representar el espacio físico, incluso hasta sentir la

presencia en una imagen transmitida desde Marte o desde el océano más profundo. Estos mundos virtuales siempre están bajo control, puesto que todo es una representación de objetos.

El arte, al igual que las distintas formas de expresión, convergen en la red como punto de encuentro de la colectividad. La red se erige en el vínculo existencial del pensamiento. El arte actual parece que debe rendirse a la tecnología pero, lo cierto, es que son el arte y el artista los que deben ser creados para cierta tecnología. El arte computacional no ha desarrollado todavía sus dogmas estéticos debido, principalmente, a que la informática sufre constantes innovaciones. No obstante, el rasgo distintivo del arte computacional es la imagen móvil y la construcción de entornos que son capaces no sólo de reaccionar sino de manipular interactivamente esos acontecimientos.

Ese espacio virtual es, a pesar de todo, un espacio de simulación, de copia y artificialidad, en el que las abstracciones y conceptos son el núcleo central de la cultura. El material de construcción de toda esta simulación es el número, y como elemento puramente abstracto, construye espacios figurativos donde nada tiene una entidad real sino que surge como conceptos variables desde su origen. El lenguaje se subordina al cálculo debido a la necesidad de lenguajes de programación. Las imágenes se construyen mediante síntesis o nueva generación, propio de todos aquellos lenguajes que nacen de la capacidad de abstracción del ser humano, como son las matemáticas. El número y, por extensión, las matemáticas, es algo que une a toda cultura. Nace, pues, la imagen de síntesis a partir de una raíz común a toda cultura que derriba cualquier frontera y que, universaliza, la técnica de representación. Ya no necesitamos de materiales físicos, desconocidos por su inexistencia entre las materias primas de muchas culturas, para representar. La imagen nace, por tanto, de operaciones simbólicas en el seno de una máquina que lo único que hace es calcular las diferentes operaciones matemáticas que le vayamos pidiendo. Los mundos virtuales son, por tanto, herramientas de lenguaje y formalización.

Las representaciones analógicas tradicionales eran unidades cerradas y terminadas, mientras que la representación digital es esencialmente dinámica y, en ella, se puede conducir el mundo desde cualquier escala y modos de representación inimaginables. En la imagen virtual el punto de vista deja de ser estable y, el horizonte y verticalidad, dejan de ser las referencias claves. Ante esta falta de constantes, se abre la posibilidad a que el autor sea el espectador, puesto que es el que da vida y manipula dichas imágenes virtuales. La sociedad actual busca, cada vez más, poderse representar para sustituir el mundo real totalmente. Mediante las telecomunicaciones, estamos en una continua disposición a estar en presencia de los demás. La televirtualidad crea dobles de nosotros para gestionar nuestra posición los mundos virtuales. El artista, por tanto, lanza su obra al ciberespacio y, además, tiene la

posibilidad de ponerse en contacto con nosotros cuando se lo requiramos. Este acercamiento virtual entre artista y espectador modifica la noción artística ya que, entre ambos, pueden modificar la obra de arte o el espectador puede hacerlo y, posteriormente, comunicárselo directamente al autor. La interacción es una fase más en la incorporación del tradicionalmente pasivo observador en un proceso creativo. Esta tendencia surgió en la década de los 60 con el arte cinético, arte de la acción o el "happening". El arte conceptual y el pop se basa en principios como que la obra de arte sólo se crea cuando el observador está frente a ella. El nuevo arte propulsado por la integración entre arte y tecnología se llama arte reactivo, y es aquel que cambia con la presencia y actividad del público. Este arte no espera estáticamente al espectador, sino que reaccionan ante la llegada del público. Las obras parecen que ven, oyen y sienten al público. El arte reactivo es el mejor modo de entender las necesidades de la sociedad actual, ya que su fascinación por la máquina hace olvidar las búsquedas filosóficas. Nuestra sociedad tiene en los expertos el máximo grado de jerarquización social. Los mundos virtuales nos ponen en contacto con ellos y nos permiten, en cierto modo, poder llegar ser uno de ellos puesto que la red proporciona la información necesaria para ello. Un punto de encuentro lo tenemos en la relación que establecen el artista y el cibernauta. Ambos necesitan lo mismo para expresarse: ordenadores que gestionen en tiempo real y efectores que proporcionen sensaciones de interacción. De este modo, ambos comparten la imaginación y la creación.

No obstante, es el creador de los mundos virtuales el que decide en que términos puede ser modificada su obra. La diferencia entre autor y espectador pasa a ser mínima puesto que entra en juego un nuevo concepto del arte: la interactividad. La sociedad actual se estructura en función a esta cualidad, puesto que nada es único y todo es susceptible de cambio. De hecho, lo que se pretende es copiar la vida real de las personas y llevarlo al arte, puesto que la gente está continuamente interaccionando entre ellos y con los objetos. Sin interacción viviríamos en el absurdo.

Tanto en el arte reactivo como en los mundos virtuales, los usuarios no juegan solamente con el sistema sino que, al mismo tiempo, se convierten en actores que se representan a sí mismos. Evidentemente, este arte reactivo y estos mundos virtuales tienen mucho de azar, es decir, que su constitución numérica unida a las distintas interacciones según los distintos usuarios, los hace variar continuamente. La interacción modifica, desde este principio, la forma en la que los sentidos se relacionan con el mundo abstracto.

El primer movimiento cultural que ha salido de la red para instalarse en la literatura ha sido el movimiento *ciberpunk*, con William Gibson, como máximo exponente. Este movimiento parte de un ensalzamiento de la tecnología como base sustentadora del conglomerado social e, incluso, de la propia evolución humana.

Esta comunidad interactiva, que pasa por ser global al poner en contacto a todas las personas que conforman el planeta, es una de las sociedades con menor movilidad social de la historia. La fascinación por la globalidad empaña la utilidad última de la tecnología: el bien común. Gracias a las máquinas somos capaces de conocer gentes y costumbres de todas partes, pero no podemos intervenir en una mejora social. Todo añadido tecnológico a la sociedad, necesita de un período de adaptación social. La alfabetización crea un sistema democrático y la cultura se desarrolla porque la gente que sabe leer - nuestra cultura ha crecido por el dominio de la lectura - aprecia lo leído e intenta imitarlo. La alfabetización virtual se debe producir para crear una utilización democrática de este sistema y para que la cultura de lo virtual se vaya desarrollando de una manera natural y no sólo por intelectuales o expertos tecnológicos. Esta nueva alfabetización provoca un cambio radical en la forma de pensar, ya que nos empezamos a mover en un código distinto al aprendido.

El hombre actual está más dispuesto a conocer las habilidades de la máquina que a su interlocutor del otro lado. Se siente más atraído por la inercia de los espacios virtuales que por los requerimientos de su receptor, al que "utiliza" como medio para descubrir nuevos espacios, tecnológicos y virtuales, de comunicación. El hombre pierde atracción por el hombre, en favor de la máquina. La enorme revolución que han sufrido los ordenadores en poco tiempo es una de las razones que promulgan esta disfunción. Cuando se construyó el ENIAC, es decir, el primer ordenador, ocupaba una sala entera. Actualmente ese mismo ordenador cabe en un microchip. No obstante, los ordenadores actuales son incapaces de realizar tareas cotidianas para el cerebro humano, como el reconocer una cara. Los investigadores, por otra parte, están centrando sus estudios en mejorar la comunicación con la máquina, y la realidad virtual es el interfaz más perfecto, conocido hasta ahora. El hombre abandona su cuerpo para penetrar virtualmente en el ciberespacio. El hombre se convierte en número y, por tanto, en abstracción.

Los mundos virtuales permiten expresar todo tipo de ideas abstractas porque ofrecen la posibilidad de generar nuevos puntos de vista simbólicos. Pero la realidad virtual permite integrar estos puntos de vista simbólicos con los reales, de tal modo que la mezcla de lo representado y lo real dota al usuario de una nueva visión de lo real en el que lo concreto y lo abstracto se unen en una interacción plena.

El ciberespacio se define, por tanto, como un lugar donde, personas físicamente separadas, comparten experiencias y creencias. Tan rápido avanza la revolución de la realidad virtual que, mientras discutimos las cuestiones éticas, las prácticas marchan mucho más adelante. Este desajuste entre avances y ética de comportamiento ante ellos, conduce a desajustes morales en los que hechos como el de los dos estudiantes norteamericanos que asesinaron a varios de sus compañeros de instituto tras recibir toda clase de información de

como hacerlo a través de Internet, desatan todas las iras sociales en cuanto a la falta de unos códigos éticos rigurosos para la red de redes. La tendencia cultural, por tanto, es huir de la centralización para penetrar en la globalización, lo que supone un flujo de ideas en continuo movimiento de ida y vuelta, las cuales no están controladas actualmente. Esta globalización de la red hace que desaparezca el espíritu de comunidad de los pioneros, y empiezan a parecer los villanos. Debemos tener en cuenta que cualquier civilización con un alto grado de desarrollo, lleva implícita, también, un alto grado de criminalidad.

No obstante, según Quéau (1995, 71), *una anarquía demasiado radical de la red sólo puede socavar los mismos fundamentos que la hacen posible. Sin duda, nuevas formas algorítmicas de control permitirán limitar los abusos a costa de restringir las libertades de expresión y de comunicación.* La existencia de una ética dentro de la red debe ser promulgada. La manipulación por parte de piratas informáticos de los agentes virtuales y la introducción, por parte de los mismos, de virus informáticos, podrían dirigir la red en beneficio de unos pocos. La información se convertiría en el botín máspreciado y las grandes compañías podrían estar dispuestas a adquirirla, como medio de espionaje industrial, a cualquier precio. La estructura de la red hace que el anonimato sea la base de un sentimiento de impunidad para cometer fechorías hacia los demás.

Vivimos, pues, en la era de la incertidumbre que engloba todas las definiciones de ser humano. La máquina se parece, cada vez más, al hombre aunque no logra alcanzarlo por la desmesura y el gozo del placer que todavía no se han conseguido desarrollar en las máquinas.

Lo virtual, no obstante, nos propone nuevos modos de experimentar y concebir el universo en un tiempo, en el que todos creíamos, que el ciclo se había completado. El cuadro o la pantalla, constituido en marco delimitador desde el principio, nos inicia en la nueva aventura de poder traspasarlo para llegar a formar parte de la propia representación que en ellos se encierra. La única vía de escape debe ser, por tanto, escapar a la tecnología.

El hombre, cuando atraviesa la pantalla, torna ambigua la diferencia entre hombre y máquina, entre lo natural y lo artificial, entre lo concreto y lo abstracto. El ciberespacio torna en real aquello que siempre ha sido irreal o representacional, aunque la forma de acceder a los mundos virtuales es a través de una pantalla y, las pantallas, nos sumergen siempre en la ilusión y no en la realidad. Pero el hombre virtual, es decir, aquel que ha traspasado la pantalla, tiene que volver a su cuerpo continuamente para tener consciencia de ser. La vida, por tanto, se sigue viviendo a través de los cuerpos reales. El ciberespacio no es más, por tanto, que una nueva fase en la evolución de la representación para llegar a construir mundos del mismo modo que hicieron los dioses con el nuestro.

Este nuevo mundo emergente se enfrentará a los mismos problemas que hemos sufrido

hasta ahora. La tecnología y la ciencia aplicada a la comunicación no pueden arreglarlos, ya que los conflictos se generan por conflicto de intereses entre aquellos que siempre han sustentado el monopolio de la información, para adecuarla a su beneficio. Negroponte, no obstante, augura un futuro en el que los medios de comunicación de masas desaparecerán gracias a tecnologías como la realidad virtual, que devolverán al receptor el control de la situación conversacional. No hay que olvidar, por otro lado, que en cualquier sistema de interacción y comunicativo cada actor adquiere un rol dentro del mismo. En un sistema virtual todos los participantes deben establecer el tipo de papel que desean asumir para que no haya problemas de asunción de roles en el mismo entorno. Si no quedan claras ciertas normas de comportamiento la relación entre los actores podría llegar a disolverse.

Las nuevas tecnologías, por otra parte, crean nuevas libertades y dependencias. Al principio, las libertades se notan más, pero cuando aparecen las dependencias el daño se torna en irreparable. La política, que siempre va al arrastre de las nuevas tendencias, no es capaz de controlar estas dependencias, cuando se producen, y termina por permitir la esclavitud controlada de los nuevos medios.

Negroponte afirma que lo rural y las idiosincrasias locales se están convirtiendo en el único baluarte real que nos quedaría, si las tecnologías fracasasen en algún momento. Por otra parte, algunos teóricos afirman que la unión de las telecomunicaciones con la informática han acabado con las ideologías, puesto que esta unión es capaz de transformar las estructuras sociales y económicas al margen de cualquier voluntad política. La única forma de contrarrestar esta tendencia aniquiladora sería conservar las diversas identidades culturales frente a la avalancha tecnológica unificadora.

La tecnología actual aplicada a la cultura no crea certeza, sino opinión. La información y no el razonamiento profundo es lo único, que hasta ahora, se transmite por la red.

Una característica fundamental de la nueva cultura es que no tiene pasado ni presente, es decir, podemos representar continuamente el mismo modelo cultural e interaccionar en un mismo punto sin que, por ello, desarrollemos o avancemos en los conocimientos que podamos adquirir a medida que se produzca el acto interactivo. No podemos, además, interactuar con el pasado, es decir, la interacción es sólo posible con la representación que tengamos en el presente y, jamás, podremos interaccionar con representaciones pasadas a no ser que las devolvamos al presente, si se encuentra almacenada en una base de datos.

Es una cultura donde el espíritu, condición intangible de la cultura, no puede ser almacenada, por lo que lo único importante son los aspectos "reales", es decir, cuantificables, de la propia experiencia cultural.

No obstante, la naturaleza de los fenómenos susceptibles a ser almacenados para,

posteriormente ser reproducidos, pueden ser de todo tipo (acústicos, visuales, gestuales, táctiles,...), por lo que deja de ser importante la complejidad del fenómeno.

Estas características permiten la creación de gigantescas bases de datos capaces, incluso, de almacenar culturas completas.

Los mundos virtuales creados para aplicaciones científicas son los únicos en los que la interacción es más activa, en cuanto a conclusiones reales que posibilitan nuevos descubrimientos. Pero estas aplicaciones son cerradas, es decir, no están disponibles en la red, sino que, gracias a redes internas, sólo los científicos implicados en los experimentos adquieren, más que información, conocimientos reales.

La inteligencia, por tanto, se convierte en una nueva forma de propiedad, donde los grandes centros de investigación pasan a ser las grandes empresas que mueven el conocimiento. El resto de las redes, como Internet, están sólo llenas de datos y negocios generalistas.

No obstante, Internet está proporcionando un nuevo tipo de economía basada en una mayor eficiencia gracias a que menos gente produzca más bienes. La nueva forma de trabajo impulsada por la red consiste en autoempleo a través de la red, manejando y vendiendo información y distintos productos como programas de software, imágenes para televisión o industria cultural, publicidad, gestión de datos financieros, etc. Esta nueva forma de trabajo permitirá nuevos modelos económicos que, ineludiblemente, se plasmará en nuevas formas sociales. En los medios de comunicación de masas, los gobiernos y los grupos privados poderosos han manipulado, desde sus orígenes, el mensaje. En los espacios virtuales de comunicación lo que se manipularía sería el propio medio de difusión de mensajes, lo que nos lleva a pensar en la utilidad democrática de los mundos globales de interacción comunicativa.

El universo sociológico y, sobre todo, el económico necesita de una mayor globalización para poder expandir sus mercados. Las grandes potencias en comunicación amplían sus ámbitos de influencia para obtener una mayor riqueza de mercado. Las necesidades de la sociedad actual, en la que una crisis económica en el sureste asiático desestabiliza toda la economía mundial, pasa por un modelo comunicativo general en la que la barrera lingüística, principal arma de la autonomía cultural de los diversos países, sea suprimida para dar paso a una comunicación, en feed-back o interactiva, que facilite la globalización. El uso mercantilista de las libertades comunicativas y la infraestructura que se necesita para que se pueda realizar el hecho comunicativo a través de un medio tecnológico, impide un mayor desarrollo de las riquezas culturales que los países podrían aportar y recibir de los demás.

La economía actual bien podría depender de que un país sea capaz de crear la

tecnología suficiente para integrar la informática y los mundos virtuales, en la rutina más cercana a nuestras actividades. Una de las razones por la que la maquinaria bélica estadounidense es, actualmente, la más poderosa, se debe a su capacidad de integrar monitores de alta resolución en los visores de los pilotos. De este modo, los militares pueden interaccionar con los datos que les proporciona el ordenador de su avión, barco o tanque, a la vez que ven el objetivo real al que tienen que atacar.

La representación de los objetos es una de las bases de esta nueva economía ya que, de este modo, podemos dominarlos mejor. No es menos cierto que la mejor representación de un objeto es el objeto mismo, porque encierra en él todas sus cualidades mientras que en la representación se pueden omitir algunas de ellas. Pero nuestra sociedad no busca del conocimiento profundo de las cosas, sino que la tecnología ha impuesto la rapidez como mejor modo de entender el mundo. Necesitamos informarnos de un objeto, no conocerlo en su profundidad. La representación icónica es el mejor modo para realizar esta tarea. La representación virtual hace que el modelo y la imagen se construyan mutuamente, ya que podemos percibir físicamente un modelo teórico a la vez que actuamos sobre su estructura. Pero estas imágenes son totalmente efímeras, al contrario que la constancia de los objetos. La representación es una nueva presentación de un objeto, un recuerdo del mismo, pero nunca el objeto en sí. Los mundos virtuales nos proponen separarnos de la esencia de los objetos para adentrarnos en el mundo sensitivo que, esos objetos, producen en nuestros sentidos. Lo importante es comprobar que el objeto virtual está circunscrito y visible en el mundo virtual, mientras que la importancia del mismo dentro del ciberespacio deja de tener trascendencia.

La complejidad neosocial, sustentada en la no-linealidad, pasa a ser principal característica de la sociedad futura. La escritura ha sido el eje centralizador y constitutivo de nuestra cultura. Las principales características de la escritura es la linealidad y secuencialidad en la construcción del mensaje. La linealidad es la mejor característica del libro. No hay posibilidad de dar saltos en el propio transcurso lineal de la estructura ya que, sin leer el principio, no podemos entender el final. El lector está obligado al discurso impuesto del autor.

La nueva cultura emergente de la implantación de los medios, hace de la imagen el nuevo eje estructurador. La simulación, propia de la imagen, construye mensajes que no gozan de linealidad puesto que se estructura en torno a la interacción por medio de estos mensajes icónicos. Pero esta representación icónica de la abstracción no se basta en sí misma, sino que depende de las limitaciones biológicas del cuerpo humano, en tanto en cuanto, el cerebro sea capaz de racionalizar. La escritura se basó en el entendimiento humano y la iconicidad virtual debe, al menos, tenerla en cuenta. No obstante, el uso de ordenadores ha permitido integrar en el mundo socio-laboral ha discapacitados físicos como invidentes gracias a programas

desarrollados en función de esas limitaciones. La tecnología, por tanto, se convierte en medio universalizador de acceso a la información y, por tanto, de integración al mundo cultural.

Los interlocutores de los medios, los dueños de las imágenes que más seduzcan, los creadores de imágenes para el consumo, son los que detentarán el poder en esta nueva sociedad, en la que desaparece, por completo, la razón de la imprenta. La eficacia comunicativa pasa por la socialización de las imágenes que llevan al postsimbolismo de las mismas, propuesto por Lanier. Este artista afirma que la mejor característica de la realidad virtual es su capacidad para comunicar estructuras complejas. Podemos vivir y compartir una realidad antes de que ésta sea creada. Para Jaron Lanier, los datos se deben representar como si estuviéramos en una ciudad que debemos habitar ya que, de este modo, se optimiza mejor la mente humana cuando se relaciona con los datos virtuales. Esta nueva ciberciudad global tiene sus vías de comunicación en redes como Internet, las cuales estarán dispuestas a sustituir, próximamente, a todas las demás tecnologías de la comunicación.

Los medios y la red, por tanto, se unen para conformar un nuevo universo figurativo, propio del teatro, en el que se reprime lo conceptual. No hay lugar a la desilusión social puesto que todo puede ser transformado en los espacios virtuales de imágenes y, de este modo, convencernos de que todo es variable y adecuado, en algún momento, a nuestras necesidades generales. No obstante, no existe la marcha atrás en este mundo figurativo, ya que la ilusión prevalece sobre la razón. La palabra deja de serlo para convertirse en imagen. La imagen se torna, según Pisticelli (1995, 250), en *la matriz del pensamiento, la acción y la comunicación*. Ese nuevo mundo de imágenes debe ser creado, es decir, es el propio usuario que interactúa el que debe inventar el contenido de los mundos virtuales para expresarse. El hombre, por tanto, tiene su mayor problema en la capacidad de adaptación a esta tecnología y no, como algunos teóricos afirman, en la evolución alienante que está siendo determinada por la mejora de la tecnología. La era de la información en la que vivimos ha incrementado el lenguaje simbólico. La forma con la que trabajamos en los ordenadores personales ha incrementado el número de elementos simbólicos. Actualmente podemos tener acceso a una enorme cantidad de información almacenada. Nuestros antepasados aprendían todo a través de la experiencia y muy pocos eran los posibilitados para acceder a la información. A través de sus exploraciones diarias por la realidad crearon la base del conocimiento. Poco a poco fueron escribiendo este aprendizaje cognitivo, que se fue acumulando en bibliotecas, para su posterior uso por otras personas que lo utilizaban como información para contrastar sus experiencias personales. La actual abundancia de información imposibilita la capacidad de contrastarla con nuestras experiencias, lo cual redundará en una pérdida sustancial de adquisición de conocimiento. Debemos enseñar al usuario a estructurar la capacidad de búsqueda en los mundos virtuales y

garantizar, de este modo, una conceptualización de la misma.

En este universo icónico, aleatorio e inestable, las relaciones toman este sentido y, basándose en estos principios, conducen hacia un futuro incierto basado en la fragmentación del discurso. Leibniz quiso crear un universo simbólico en el que las ideas coexistieran y se interrelacionaran. Leibniz afirmó que un lenguaje universal haría posible traducir todas las nociones humanas al mismo sistema de símbolos y, para esto, creó la lógica binaria en detrimento de la aristotélica.

La construcción de mundos virtuales, donde todo lo que se diga se puede hacer, constituye un paso adelante en el modo en el que ser humano ha estructurado su pensamiento. Por otra parte, debemos entender que cada avance en la estandarización de formas y modelos, necesaria en los mundos virtuales, provoca una falta de desconocimiento hacia nosotros mismos, puesto que normas globales impiden conocer modos de entender locales. Pronto necesitaremos aprender como son las sensaciones para tener consciencia de ellas, puesto que se podrán crear artificialmente antes de conocerlas.

El hombre descubre que estos nuevos modos de entender su relación con el entorno, le conducen hacia una individualización tanto con el resto de los seres humanos como con la naturaleza que le rodea. El incremento de la tecnología elimina la interdependencia humana directa. No necesitas conocer cara a cara a otros individuos de la comunidad virtual, sino que puedes vivir una existencia al margen de los demás, pero no de ti mismo. La conciencia de YO debe existir siempre en los mundos virtuales para que se produzca una auténtica hecho de realidad y así poder interaccionar en ese mundo. Sin conciencia de persona no hay posibilidad de interacción y por lo tanto no se produce el hecho comunicativo en ese espacio.

La auténtica paradoja es, en realidad, que estamos en un mundo que no es - virtual -, con un cuerpo que no es - virtual -, pero que debe simular lo contrario. La identificación necesaria para la interacción se produce, por tanto, con nosotros mismos, puesto que nadie nos marca el punto de vista ni el relato.

El verdadero peligro de la tecnología radica en la transformación del ser humano, puesto que esa tecnología distorsiona cualquier acción e inspiración humana. Esto se debe que el hombre tiende a compararse continuamente con las máquinas. Así, la tecnología entra directamente en el ámbito de influencia del pensamiento, transformando tanto el pensamiento como las acciones. La tecnología es un modo de existencia humano, que imposibilita apreciar su verdadera importancia hasta que no se convierte en un fenómeno cultural. Heidegger, en 1975, afirmaba en relación a esto y según se recoge en Heim, M. (61) que *la verdad del asunto bien podría ser que el lenguaje máquina conlleva la gestión del lenguaje y, de este modo, se llega a la propia gestión de la esencia del ser humano.*

El ordenador, que desde hace unos pocos años está afectando sobremanera a la comunicación escrita, ha empezado a influir directamente en el modo en el que percibimos el mundo. La realidad virtual empieza a inspirar nuevos modos de entender aquello que tenemos delante de nuestros ojos. La tecnología informática es tan flexible y adaptable a nuestro sistema de pensamiento que, en nuestros días, estamos dejando de ver al ordenador como una simple herramienta para tratarla como una "prótesis mental" en nuestras manos. La integración que se produce en los mundos virtuales entre lenguaje escrito e icónico, hace de la realidad virtual una nueva vía de conformar el pensamiento en el milenio que viene.

La cultura occidental está entrando en crisis. El mundo de la informática y su implantación general han propiciado que la representación de los objetos sea tan universal que hayan desaparecido algunos códigos culturales debido a la implantación de otros totalmente artificiales y que provienen, principalmente, de la informática. La realidad virtual se confirma como la herramienta ideal para este cambio de códigos. Por tanto, debemos pensar en dar un paso adelante en la representación de nuestro mundo para una mejor percepción del mismo. La realidad virtual es un instrumento que nos puede ayudar en el uso de nuevos códigos y nunca se debe considerar como sustituta de la realidad que vivimos.

La ilusión, para Freud, es aquello que se deriva de los deseos humanos. Las ilusiones virtuales podrán ser muy cercanas a lo real, pero no, por ello, dejan de ser ilusiones. Una ilusión se vuelve más real cuanto menos deja de parecer ilusión, pero esto no es motivo para pensar que las imágenes virtuales pasen a ser clasificadas como reales, en tanto en cuanto, influyan directamente a nuestros sentidos. El peligro, por tanto, existe cuando dejamos de pensar en los mundos virtuales como ilusiones y los pensamos como reales. No olvidemos nunca que el hombre, aunque quiera, jamás podrá escapar de su cuerpo.

Pero, ¿qué es lo que necesita una imagen generada en un ordenador, para considerarla virtual? Las siguientes características nos dan la clave para resolver esta cuestión.

La primera de todas es la *simulación*, tanto de la imagen como del sonido. Las imágenes deben ser generadas con una textura y luminosidad suficiente para provocar al ojo una apariencia de realidad. En cuanto al sonido, se debe crear una sensación tridimensional del espacio gracias a una simulación de las fuentes sonoras en los tres ejes del espacio.

La *interacción* que, para algunos, es el mayor logro de la realidad virtual, puesto que la posibilidad de interaccionar y recibir respuestas por parte de las imágenes de los mundos virtuales, es el factor principal de inmersión y sensación de realidad de los mundos virtuales.

La *artificialidad*, es decir, que sea creado en su totalidad por un ordenador aunque se integren en ellos, imágenes del mundo real que, inevitablemente, deben pasar por el filtro informático.

La *inmersión* que va unida a la interacción. La realidad virtual es un interfaz de comunicación con el ordenador que trata la información a partir de génesis de mundos virtuales. Para ello se emplean dos pequeños dispositivos ópticos que proporcionan visión tridimensional; un sensor Polhemus que detecta la posición de la cabeza, así como todos sus movimientos; un guante de datos para manipular los objetos percibidos en los entornos virtuales; por último, altavoces que dan la posibilidad de escuchar sonido tridimensional que crea el ordenador. A través de todos estos dispositivos se crean las sensaciones de inmersión en los entornos virtuales.

Otra característica definible de lo que se considera como realidad virtual, es la *telepresencia*. La telepresencia ofrece al operador un gran control sobre procesos remotos. Se considera telepresencia cuando se está presente desde una localización distante. El hecho de estar presente implica la posibilidad de manipular objetos e interactuar con entornos remotos, tal y como se produciría si estuviéramos en ese entorno.

La *inmersión total del cuerpo entero* es una esperanza que todos los grandes investigadores de la realidad virtual han pretendido. Myron Krueger, el padre de la realidad virtual, ha creado, desde finales de los sesenta, entornos interactivos en los que el usuario se mueve libremente. Krueger ha empleado cámaras y monitores con los que proyectaba imágenes en un espacio que rodeaba al usuario y que permitía, además, la posibilidad de manipular e interactuar con los objetos.

La sociedad en la que vivimos necesita de la *comunicación nodal* a través de redes que hacen fluir la información de un punto a otro del planeta. Los ordenadores permiten la existencia de estas redes de información, como Internet, que han puesto en comunicación a todo el mundo. La realidad virtual aparece como el mejor medio de comunicación en todo el mundo, ya que se pueden operar directamente con símbolos en lo que Jaron Lanier ha denominado como "comunicación postsimbólica". Tan sólo hacen falta elaborar protocolos que ahorren tiempo en la gestión comunicativa de la red, puesto que manipular imágenes directamente en la red es bastante costoso y lento.

Como hemos visto, los sistemas de realidad virtual deben ser interactivos. Esta posibilidad aporta la característica de *actividad/pasividad* dentro de los mundos virtuales. En ellos, los usuarios pueden mantenerse pasivos o, por el contrario, participar de los mismos. El artista virtual aprovecha esta posibilidad para crear obras en los que el espectador se convierte en parte fundamental de la obra misma.

Para crear estas nuevas posibilidades artísticas, la realidad virtual tiene que proporcionar al usuario, tanto capacidad de *manipulación* como de *receptividad* del usuario con respecto al sistema. El artista debe crear una estrategia dependiente de la obra virtual, que

dote al espectador de estas dos características para conseguir una mejor cualidad de inmersión en los mundos virtuales.

La realidad virtual debe dotar al usuario, también, la sensación de *presencia remota* a través de un desarrollo de retroalimentación en la que la presencia incluye una apertura de sensibilidad para el cuerpo entero. De esta forma, la sensación de penetrar en la frontera de lo virtual se hace más evidente al usuario virtual.

La posibilidad de trabajar conjuntamente con imagen real y virtual, es decir, lo que se llama *realidad aumentada*, permite una mejor transición entre lo virtual y lo real y viceversa. Esta característica, que rompe temores psicológicos hacia lo virtual, garantiza a los creadores de mundos virtuales un poder sin precedentes para transformar las sociedades.

La introducción del ordenador como herramienta de comunicación, ha transformado el modo de entender la relación entre seres humanos. Con toda seguridad, la generalización de técnicas de simulación y de representación virtuales, irá acompañada de una miopía filosófica que tenderá a ocultar la naturaleza de las diferencias entre real y virtual.

Para Platón, la verdad era una búsqueda, una realidad en potencia. En cambio, para Nietzsche, que quiere condenarla, la verdad no es más que una multitud cambiante de metáforas, las verdades son ilusiones. Se pueden definir los mundos virtuales como una "multitud cambiante de metáforas". Su despliegue universal se traducirá, sin duda alguna, en un olvido más profundo todavía de la verdad según Platón, y en el éxito de la acepción de Nietzsche. Se preferirá la riqueza de las metáforas virtuales al camino de la verdad real.

La realidad virtual unirá, por tanto, al mundo con la representación pero, al hacerlo más generalista y unificar la comunicación, éste perderá la posibilidad de desarrollar nuevos modelos comunicativos.

Capítulo 15.

APENDICES Y BIBLIOGRAFIA

- Amount, J. y otros: (1983) *Estética del cine*. Barcelona. Editorial Paidós Comunicación.
- Armañanzas Sodupe, Emy; Díaz Noci, Javier; Meso, Koldo: (1996) *El periodismo oelectrónico: información y servicios multimedia en la era del ciberespacio*. Barcelona. Editorial Ariel.
- Asimov, I: (1975) *Yo Robot*. Barcelona. Editorial Bruguera.
- Aukstakalnis, Steve y Blatner, David: (1993) *El espejismo de silicio*. Barcelona. Editorial Página Uno.
- Barquín, Javier: (1996) *Aventura en el ciberespacio*. Madrid. Ediciones Alfaguara, S.A.-Grupo Santillana.
- Bernabé, Alberto: (1997) *De Tales a Demócrito. Fragmentos presocráticos*. Madrid. Alianza Editorial.
- Bonsón Ponte, Enrique: (1995) *World-Wibe-Web: una introducción al ciberespacio*. Madrid. Ra-Ma, Librería y Editorial Microinformática.
- Borges, J. L.: (1994) *Historia de la eternidad*. Madrid. Alianza Editorial.
- Brand, S.: (1988) *El Laboratorio de Medios. Inventando el futuro en el MIT*. Buenos Aires. Ed. Galápagos.
- Bronowski, J.: (1981) *Los orígenes del conocimiento y la imaginación*. Barcelona. Ed.

Gedisa.

- Bruce, Vicki y Green, Patrick R.: (1992) *Percepción visual. Manual de fisiología, psicología y ecología de la visión*. Barcelona. Editorial Paidós.
- Burdea, Grigore; Coiffet, Philippe: (1996) *Tecnologías de la realidad virtual*. Barcelona. Ediciones Paidós Ibérica, S. A.
- Bustos García de Castro, Pablo: (1994) *Realidad virtual*. Madrid. Ed. McGraw-Hill/ Interamericana de España.
- Cadoz, Claude: (1994) *Las realidades virtuales*. Madrid. Editorial Debate.
- Calabrese, O.: (1989) *La era neobarroca*. Madrid. De. Cátedra.
- Calle Guglieri, José A. : (1996) *Reingeniería y seguridad en el ciberespacio*. Madrid. Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- Capdevilla Gisbert, Francisco: (1996) *Alicia en la ciudad virtual*. Valencia, Midons Editorial, S. L.
- Carroll, Lewis: (1996) *Alicia en el País de las Maravillas*. Madrid. Alianza Editorial.
- Carrol, Lewis: (1995) *Alicia a través del espejo*. Madrid. Alianza Editorial.
- Casals, Pedro: (1997) *Perdido en el ciberespacio*. Madrid. Anaya Interactiva.
- Casanova González, Miguel Angel: (1995) *Realidad virtual*. Madrid. Anaya Interactiva.
- Casey Larijani, J.: (1994) *Realidad virtual*. Madrid. Editorial McGraw-Hill / Interamericana de España, S. A.
- Castells, M.: (1988) *Nuevas tecnologías, economía y sociedad*. Universidad Autónoma de Madrid.

- Chartier, R.: (1992) *El mundo como representación*. Barcelona. Editorial Gedisa.
- Clarke, A. C.: (1978) *El fin de la infancia*. Buenos Aires. Ed. Minotauro.
- Cray, Jonathan: (1994) *Arte virtual*. Madrid. Sociedad Editorial Electa España.
- Dabas, E. : (1993) *Red de redes. Las prácticas de intervención en las redes sociales*. Buenos Aires. Editorial Paidós.
- Davara Rodríguez, Miguel Angel: (1996) *De las autopistas de información a la sociedad virtual*. San Sebastián. Editorial Aranzadi, S. A.
- Deken, Joseph: (1986) *Imágenes de ordenador. La informática gráfica en la ciencia y el arte*. Barcelona. Icaria Editorial.
- Eco, Umberto: (1977) *Como se hace una tesis. técnicas y procedimientos de investigación, estudio y escritura*. Barcelona. Editorial Gedisa.
- Edwards, B.: (1986) *Drawing on the artist within*.
- Eisenstein, E. L: (1983) *The printing revolution in early modern Europe*. Cambridge University Press.
- Freud, Sigmund: (1988) *Los textos fundamentales del psicoanálisis*. Madrid. AlianzaEditorial.
- Ganascia, J. G.: (1994) *La inteligencia artificial*. Madrid. Editorial Debate.
- García Barreno, Pedro: (1997) *Medicina virtual en los bordes de lo real*. Madrid. Editorial Debate.
- Gibson, William: (1994) *Luz virtual*. Barcelona. Ediciones Minotauro.
- Gibson, W. Y Sterling, B.: (1992) *The difference engine*. New York. Bantam.

- Gombrich, E.: (1997) *La imagen y el ojo*. Madrid. Editorial Alianza.
- Gradecki, Joseph D.: (1995) *Realidad virtual : construcción de proyectos*. Madrid. Ra-Ma, Librería y Editorial Microinformática.
- Gubern, Román: (1996) *Del bisonte a la realidad virtual: la escena y el laberinto*. Barcelona. Editorial Anagrama.
- Gutrie, W.: (1997) *De Tales a Demócrito. Fragmentos presocráticos*. Alianza Editorial.
- Harrison, H. y Minsky, M.: (1993) *La utopía de Turing*. Buenos Aires. Ed. Atlántida.
- Heidegger, M.: (1957) *Hebel-friend of the house*. Filosofía germana contemporánea. Vol. 3.
- Heim, M.: (1995) *The methaphysics of virtual reality*. Oxford University Press.
- Jubak, J.: (1993) *La máquina pensante. El cerebro humano y la inteligencia artificial*. Barcelona. Ediciones B.
- Kandel, E.; Schwartz, J.; Jessell, T.: (1991) *Principles of Neural Science*. New York. Editorial Elsewierr.
- Kirk, G.: (1984) *La naturaleza de los mitos griegos*. Barcelona. Editorial Argos Vergara.
- Koffka, K.: (1973) *Principios de psicología de la forma*. Buenos Aires. Editorial Paidós.
- Lavroff, Nicholas: (1992) *Mundos virtuales. Realidad virtual y ciberespacio*". Madrid. Ediciones Anaya Multimedia.
- Lewin, R.: (1992) *life at the edge of the chaos*. New York. Ed. MacMillan.
- Maldonado, Tomás: (1994) *Lo real y lo virtual*. Barcelona. Editorial Gedisa, S. A.
- Martín Serrano, Manuel y otros: (1982) *Teoría de la comunicación. Epistemología y análisis de la referencia*. Madrid. Volumen VIII de cuadernos de la comunicación.

- Martín Urbano, Pablo: (1999) *Las telecomunicaciones en la Unión Europea*. Madrid. Ediciones GPS-Madrid.
- Melling, David J.: (1991) *Introducción a Platón*. Madrid. Alianza Editorial.
- Minsky, M.: (1988) *La sociedad de la mente. La inteligencia humana a la luz de la inteligencia artificial*. Buenos Aires. Ed. Galápagos.
- Moragas, Miguel de: (1993) *Sociología de la comunicación de masas. Tomo II. Estructura, funciones y efectos*. Barcelona. Ediciones Gustavo Gili.
- Moragas, Miguel de: (1993) *Sociología de la comunicación de masas. Tomo IV. Nuevos problemas y transformación tecnológica*. Barcelona. Ediciones Gustavo Gili.
- Muñoz González, José Javier: (1993) *Expresión artística y audiovisual: primeros signos de la realidad virtual*. Salamanca. Amarú Ediciones.
- -Nielsen, J.: (1990) *Hypermedia and hypertext*. San Diego. Academic Press.
- Nora, Dominique: (1997) *La conquista del ciberespacio*. Barcelona. Editorial A. B. Española, S. L.
- Packerd, Edward: (1996) *La máquina de la realidad virtual*. Barcelona. Editorial Timun Mas, S. A.
- Palazón Meseguer, Alfonso: (1998) *Lenguaje audiovisual*. Madrid. Acento Editorial.
- Penrose, Roger: (1991) *La nueva mente del emperador*. Barcelona. Editorial Grijalbo Mondadori.
- Pino González, L. M. del: (1995) *Realidad virtual*. Madrid. Editorial Paraninfo.
- Pisticelli, Alejandro: (1995) *Ciberculturas en la era de las máquinas inteligentes*. Barcelona. Editorial Paidós.

- Platón: (1995) *República*. Barcelona. Editorial Planeta-DeAgostini.
- Puente Martorell, José Manuel de la: (1996) *Arquitectura y realidad virtual: teoría, técnica, debate*. Barcelona. Editorial Puente Martorell, J. M.
- Puig González, Jaime: (1995) *Así se crea realidad virtual*. Madrid. Editorial CIMS.
- Quéau, Philippe: (1995) *Lo virtual. Virtudes y vértigos*. Barcelona. Editorial Paidós.
- Rheingold, Howard: (1994) *Realidad virtual*. Barcelona. Gedisa Editorial.
- Roselló Tormo, Emilio: (1996) *Crear en multimedia: animación de la imagen virtual 3D*. Valencia. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Servicio de Publicaciones.
- Sacristán Gómez, Alejandro; Birell Dean, Simón: (1996) *Telespacio virtual, versión 1.0 [Archivo de ordenador] : encuentra tu propia forma de comunicación*. Madrid. Editorial Telefónica I+D.
- Sala, Rosa; Giannetti, Claudia, Dávila, Mela: (1998) *Ars Telemática: telecomunicación. Internet y ciberespacio*. Barcelona. Editorial Associació de Cultura Contemporània l'Angelot.
- Stampe, Dare ... [et al.]: (1994) *Realidad virtual: creaciones y desarrollo*. Madrid. Editorial Anaya Multimedia.
- Stashower, D.: (1990) "A dreamer who made us fall in love with the future". Ed. Smithsonian.
- Sutherland, Ivan: (1965) *The Ultimate Display*. IFIP Congress.
- Toca, Susana de: (1997) *Psicologías cognitivas*. Madrid. Editorial Biblioteca Nueva.
- Villafañe, Justo: (1987) *Introducción a la teoría de la imagen*. Madrid. Ediciones Pirámide.

- Vivar, Hipólito y Aguilera, Miguel de: (1990) *La infografía. Las nuevas imágenes de la comunicación audiovisual en España*. Madrid. Fundesco.
- Watzlawick, Paul, Bavelas Beavin, Janet y Jackson, Don D.: (1987) *Teoría de la comunicación humana*. Barcelona. Editorial Herder.
- Watzlawick, P. y Krieg, P.: (1994) *El ojo del observador. Contribuciones al constructivismo*. Barcelona. Editorial Gedisa.
- Whorff, B. L.: (1968) *Pensamiento, lenguaje y realidad*. Barcelona. Ed. Seix Barral.
- Woolley, Benjamin: (1994) *El universo virtual*. Madrid. Acento Editorial.

PRENSA, REVISTAS E INTERNET

- Aguirre Romero, Joaquín M^a: *Artes de la memoria y realidad virtual*.
[HTTP://WWW.UCM.ES/INFO/ESPECULO/NUMERO2/MEMORIA.HTM](http://WWW.UCM.ES/INFO/ESPECULO/NUMERO2/MEMORIA.HTM)
- Antolín Rato, Mariano: (31 de julio de 1993) *Odisea en el ciberespacio*. El Mundo.
- *Application areas*. [HTTP://WWW.SGI.COM](http://WWW.SGI.COM)
- Arco, Miguel Angel del: (febrero, 1994) *Cibersexo. Así funciona la máquina del placer*.
Revista Tiempo.
- *Arte virtual. Doce propuestas de Arte Reactivo*. 1994. Madrid. Editorial Electa.
- Beaumont, José F.: (8 de febrero de 1989) *Imágenes en libertad*. El País.
- Berenguer, Xavier. *Escribir programas interactivos*.
[HTTP://WWW.IUA.UPF.ES/FORMATS/ART/A01ET.HTM](http://WWW.IUA.UPF.ES/FORMATS/ART/A01ET.HTM)
- "Berenguer, Xavier. *Promesas digitales*.
[HTTP://WWW.IUA.UPF.ES/BERENGUER/ARTICLES/PROMESAS/PROMESAS.HTM](http://WWW.IUA.UPF.ES/BERENGUER/ARTICLES/PROMESAS/PROMESAS.HTM)
- Berenguer, Xavier. *Una frontera que se desmorona*.
[HTTP://WWW.IUA.UPF.ES/BERENGUER/ARTICLES/VARIS/FRONTER.HTM](http://WWW.IUA.UPF.ES/BERENGUER/ARTICLES/VARIS/FRONTER.HTM)
- Berenguer, Xavier. *El movimiento dibujado*.
[HTTP://WWW.IUA.UPF.ES/BERENGUER/ARTICLES/VARIS/MOVDIB.HTM](http://WWW.IUA.UPF.ES/BERENGUER/ARTICLES/VARIS/MOVDIB.HTM)
- Berenguer, Xavier. *Las imágenes sintéticas*.
[HTTP://WWW.IUA.UPF.ES/BERENGUER/ARTICLES/SINT/SINTETC.HTM](http://WWW.IUA.UPF.ES/BERENGUER/ARTICLES/SINT/SINTETC.HTM)

- Berenguer, Xavier. *Después de las palabras*.
[HTTP://WWW.IUA.UPF.ES/BERENGUER/ARTICLES/VARIS/DESPAL.HTM](http://www.iua.upf.es/BERENGUER/ARTICLES/VARIS/DESPAL.HTM)
- Berenguer, Xavier. *Fábrica de sueños*.
[HTTP://WWW.IUA.UPF.ES/BERENGUER/REPORTS/FABRICA](http://www.iua.upf.es/BERENGUER/REPORTS/FABRICA)
- Berenguer, Xavier. *Vida artificial*.
[HTTP://WWW.IUA.UPF.ES/BERENGUER/REPORTS/VIDART](http://www.iua.upf.es/BERENGUER/REPORTS/VIDART)
- Berenguer, Xavier. *Historias por ordenador*.
[HTTP://WWW.IUA.UPF.ES/BERENGUER/ARTICLES/HISTOR/NARRAC.HTM](http://www.iua.upf.es/BERENGUER/ARTICLES/HISTOR/NARRAC.HTM)
- Canogar, Daniel, Mera, Esther y Hergueta, José Antonio: (1993) *Plusvalías de la imagen. Anotaciones para una crítica de los usos y abusos de la imagen*. Bilbao.
- *CyberEdge Journal*. (Julio/Agosto 1993). Volumen 3, Nº. 4.
- Fraile, Carmen S.: (1998) *¿Está desplazando el mundo virtual al mundo real?*. Revista Más Allá. Nº 116.
- Heim, Michael: *The Metaphysics of Virtual Reality*. Michael Heim. Oxford University Press.
- *Imagina 92*. (1992) Francia. Instituto Nacional del Audiovisual.
- *Imagina 94*. (1994) Francia. Instituto Nacional del Audiovisual.
- Kandel, Eric R., Schwartz, James H. y Jessell, Thomas M.: (1991) *Principles of Neural Science*. New York. Elsevier Science Publishing.
- *Karma vértigo*. Entrevista de Jay Bain a Jaron Lanier.
- [HTTP://WWW.WINKLERAD.COM/STAFF/JAY/WRITING_JL.HTML](http://www.winklerad.com/STAFF/JAY/WRITING_JL.HTML)
- Lanier, J.: (1986) "An interview", en S. Lammers, *Programmers at work*. First Series.

Redmond. Microsoft.

- -Lanier, J.: (1986) *Virtual Reality. An Interview* " Whole Earth Review, nº 64. The alien intelligence of plants (108-119)
- Lanier, J.: (1990) *Brave New World. An interview*. Rolling Stone, nº 580 (92-100)
- Martín Bosch, Pablo A. *Las nuevas tecnologías y el concepto de revolución total*. [HTTP://ROBLE.PNTIC.MEC.ES/JMARTI43/ARTICULOSBIS/ARITZMARTINI.HTM](http://ROBLE.PNTIC.MEC.ES/JMARTI43/ARTICULOSBIS/ARITZMARTINI.HTM)
- Mercader, Antoni: (noviembre, 1993) *La revolución de las imágenes virtuales*. Cuatro Semanas y Le Monde Diplomatique. Año 1, Nº 10.
- Miravallas, Julio: (20 de agosto de 1993) *La artista de lo imposible*. El Mundo.
- Nelson, T.: (1987) *Computer Lib/Dream machine*. Washington. Microsoft Press.
- *Realidad virtual y mercadeo*. [HTTP://WWW.GEOCITIES.COM/SILICON VALLEY/STATION/5324/MERCADEO.HTM](http://WWW.GEOCITIES.COM/SILICON VALLEY/STATION/5324/MERCADEO.HTM)
- Rheingold, H.: (1991) *The great equalizer*. Whole Earth Review, nº 71. Electronic democracy (4-11)
- Rodríguez, Angel, Domínguez, Rafael y Espejo, Servando: (julio/septiembre, 1996) *Circuitos integrados de visión en tecnología CMOS*. Revista Fronteras de la Ciencia y Tecnología. Nº 12. Pp. 30-34.
- Rötzer, Florian: (1994) *Arte virtual*. Madrid. Cosejería de Educación y Cultura.
- *Virtual Reality. How Technology can amplify the Human Mind*. (Octubre, 1992) BusinessWeek. Ed. McGraw Hill.
- *Virtual Reality - Overview*.
[HTTP://WWW.SGI.COM/VIRTUAL_REALITY/OVERVIEW/F_WHATIS.HTML](http://WWW.SGI.COM/VIRTUAL_REALITY/OVERVIEW/F_WHATIS.HTML)

- *Without interaction we live in absurdity: Virtual Reality as a way of sharing the new worlds.*
[HTTP://WWW.MEDIAMENTE.RAI.IT/ENGLISH/BIBLIOTE/INTERVIS/LANIER.HTM](http://www.mediamente.rai.it/english/bibliote/intervis/lanier.htm)